



Sherman Oaks California (USA), 2025



MODERN ASPECTS OF SCIENCE AND EDUCATION

COLLECTIVE MONOGRAPH

MODERN ASPECTS OF SCIENCE
AND EDUCATION

Compiled by
VIKTOR SHPAK

Chairman of the Editorial Board
STANISLAV TABACHNIKOV

GS Publishing Services
Sherman Oaks
2025

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 © 2025 by the Publisher «GS Publishing Services» and authors.

Illustrations © 2025 by the Publisher «GS Publishing Services» and authors.

Cover design © 2025 Publisher «GS Publishing Services».

Authors: Marina Azhazha, Olena Berezinska, Yaroslav Chkana, Dmytro Hetmanm, Liliia Kotsan, Kateryna Kovalova, Yuliya Kovalova, Vita Logvinova, Nataliia Lysenko, Natalya Metelenko, Anatoliy Mikhailov, Oleg Mikhailov, Vitalina Nikitenko, Iryna Panova, Oleg Pergat, Mykola Pysarevskiy, Iryna Riabinina, Natalia Riabinina, Oleksandr Romaniuk, Elman Safarov, Yevgenii Shtefan, Mykhailo Sidorov, Igor Strashynskiy, Vira Tymoshenko, Olga Venger, Valentyna Voronkova.

**MEDICAL-PSYCHOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC
CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL DISASTER**

**based on the materials of the scientific and practical online conference
with international participation April 25, 2025**

Authors: Iryna Andrusyshyna, Olha Biliaieva, Maxim Bilyachenko, Andrii Bitinsh, Halyna Bolshakova, Svitlana Burburska, Tetiana Chastii, Nataliia Dmytrukha, Inna Holub, Olha Holubka, Hrygoriy Hryban, Denis Garmash, Valentyna Groza, Eduard Ivashkevych, Ernest Ivashkevych, Yevhen Kharchenko, Maksym Kovhan, Iryna Kuchma, Anastasiia Kundiieva, Olena Lampeka, Valentyna Movchan, Valentyna Moyseyenko, Nataliia Mykhalchuk, Iryna Nizhenkovska, Oksana Osadcha, Volodymyr Panchenko, Olena Pantus, Serhii Puzik, Svitlana Rodchenko, Evgen Shepetko, Yuliia Shevchenko, Ostap Skoruy, Myroslava Stadnyk, Stanislav Tabachnikov, Pavlo Tkachenko, Tetiana Tovalovych, Olena Velchynska, Anastasia Yasna, Oleksandr Zaporozhets, Mykhailo Zhyvko, Zinaida Zhyvko, Serhii Zozulia.

**MEDICINE AND PHARMACY: CURRENT ISSUES OF GENERAL MEDICAL
AND PHARMACEUTICAL PRACTICE IN WAR TIMES**

**based on the materials of the scientific and practical online conference
with international participation on May 14, 2025**

Authors: Dmytro Bondarenko, Olha Chorna, Oleksandr Chubenko, Tetiana Doroshenko, Serhii Hozhdzinskiy, Natalia Huzenko, Sofia Kharlampovych, Serhii Maksymenko, Yuliia Maksymenko, Iryna Nizhenkovska, Yaroslava Pushkarova, Kateryna Smetanina, Pawel Syta, Yelyzaveta Trotsenko, Tetiana Vartolomeieva, Olena Velchynska, Olena Welchinska, Volodymyr Zaitsev, Halyna Zaitseva. Galyna Zaitseva.

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 979-8-9917519-2-6
DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023

Scientific editors-reviewers:
S. Bobrovnyk, Yu. Bondar, A. Cherep, P. Glukhovskiy, P. Hovorov, Yu. Kuznetsov,
V. Lazurenko, V. Moiseienko, L. Omelianchuk, R. Protsiuk, Zh. Virna.

The monograph is recommended for publication by the Academic Council of the Institute of Adult Education,
Presidium of the National Academy of Sciences of Higher Education of Ukraine.

Modern aspects of science and education : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the
Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. 428 p.

Available at: DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023

CONTENT

COMPUTER SCIENCE

Oleksandr ROMANIUK

RAY TRACING METHODS FOR FORMING THREE-
DIMENSIONAL GRAPHIC IMAGES.....9

**Oleksandr ROMANIUK,
Yuliya KOVALOVA**

WEB DESIGN DEVELOPMENT CONCEPTS.....30

ECONOMIC SCIENCES

**ВОРОНKOBA Валентина Григорівна,
МЕТЕЛЕНКО Наталя Георгіївна,
НІКІТЕНКО Віталіна Олександрівна,
АЖАЖА Марина Андріївна,
БЕНГЕР Ольга Миколаївна**

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЧИННИК СТАЛОГО
РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ,
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ
В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ.....95

ГЕТЬМАН Дмитро Володимирович

МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАТКОВОГО
РЕГУЛЮВАННЯ КРИПТОВАЛЮТИ В УКРАЇНІ.....119

Natalia RIABININA

INNOVATIVE TRENDS IN THE PRODUCTION OF MEAT
SUBSTITUTES 124

LINGUISTICS

**РЯБІНІНА Ірина Миколаївна,
ЛИСЕНКО Наталія Василівна,
КОВАЛЬОВА Катерина Дмитрівна**

МЕТОДИКА ПЕРЕКЛАДУ НЕНОРМАТИВНОЇ ЛЕКСИКИ
ІНОЗЕМНОЇ ХУДОЖНЬОЇ ЛІТЕРАТУРИ 139

Olena BEREZINSKA

USING THE VOICE AS A COMMUNICATION TOOL 144

PEDAGOGICAL SCIENCES

ЧКАНА Ярослав Олегович

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ
РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ
В УМОВАХ НУШ.....150

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Yevgenii SHTEFAN,
Anatoliy MIKHAILOV,
Oleg MIKHAILOV

MODELING OF FORMING PROCESSES OF POWDER AND
 POROUS MATERIALS PRODUCTS 174

POLITICAL AND LEGAL SCIENCES

Mykola PYSAREVSKIY,
Iryna PANOVA,
Mykhailo SIDOROV

THE EVOLUTION OF THE CONCEPT OF INTERNATIONAL
 SECURITY: THEORETICAL APPROACHES AND POLICY
 PRACTICE IN THE 20TH AND 21ST CENTURIES 188

ТИМОШЕНКО Віра Іванівна

ПРАВОПОРУШЕННЯ ЯК НАСЛІДОК СОЦІАЛЬНОЇ
 НЕСПРАВЕДЛИВОСТІ.....202

PSYCHOLOGY

КОЦАН Лілія Миколаївна

КОУЧИНГ ЯК ГАЛУЗЬ РОЗВИТКУ МОТИВАЦІЇ ТА
 ПСИХОЛОГІЧНА ПРОДУКЦІЯ 215

TECHNICAL SCIENCES

Oleg PERGAT,
Igor STRASHYNSKYI

PROPERTIES OF MODEL MIXED MEAT AND
 MEAT-CONTAINING SEMI-FINISHED PRODUCTS
 DEPENDING ON THE AMOUNT
 OF STRUCTURING AGENT 222

САФАРОВ Елман Гасанбей огли

ПОВЕДІНКА МАТЕРІАЛІВ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ
 НАВАНТАЖЕННІ.....231

VETERINARY MEDICINE

ЛОГВІНОВА Віта Володимирівна

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ГІСТОАРХІТЕКТОНІКИ
 ЛІМФОЇДНИХ УТВОРЕНЬ ТОНКОГО КИШЕЧНИКА
 МУСКУСНИХ КАЧОК.....238

MEDICAL-PSYCHOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL DISASTER

based on the materials of the scientific and practical
online conference with international participation

April 25, 2025

ECONOMIC SCIENCES

ЖИВКО Зінаїда Богданівна,
ПАНЧЕНКО Володимир Анатолійович,
СТАДНИК Мирослава Євгенівна,
ЖИВКО Михайло Олександрович,
РОДЧЕНКО Світлана Сергіївна

СИНЕРГІЯ УПРАВЛІННЯ БІЗНЕСОМ, ІТ-ТЕХНОЛОГІЯМИ
ТА ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ: ВИКЛИКИ ТА НАСЛІДКИ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ 263

MEDICINE

АНДРУСИШИНА Ірина Миколаївна,
ЛАМПЕКА Олена Григорівна,
ГОЛУБ Інна Олександрівна,
ДМИТРУХА Наталія Миколаївна,
МОВЧАН Валентина Олександрівна

МЕДИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДІЇ СВИНЦЮ НА
ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ТА СТАН ДОВКІЛЛЯ В РЕАЛІЯХ
СЬОГОДЕННЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ НАСЛІДКІВ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ В УКРАЇНІ 276

БІЛЯЄВА Ольга Олександрівна,
ОСАДЧА Оксана Іванівна,
БІТІНЬШ Андрій Русланович

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
В КОМПЛЕКСНОМУ ЛІКУВАННІ ПАЦІЄНТІВ З
НЕЙРОІШЕМІЧНОЮ ФОРМОЮ СИНДРОМУ
ДІАБЕТИЧНОЇ СТОПИ.....282

Anastasiia KUNDIIEVA

WORK AND RESEARCH OF THE INSTITUTE THROUGH
THE PRISM OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE 289

Valentyna MOYSEYENKO

HEALTH STATUS AND RISK OF DEVELOPMENT OF LIVER
LESIONS AMONG THE RESIDENTS OF UKRAINE 294

**ТАБАЧНИКОВ Станіслав Ісакович,
ТОВАЛОВИЧ Тетяна Володимирівна**

РОЛЬ І МІСЦЕ ПСИХОТЕРАПІЇ ТА
ПСИХОПРОФІЛАКТИКИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ
НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕКИ ОПЕРАТИВНОГО
ПЕСОНАЛУ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ 298

**БОЛЬШАКОВА Галина Михайлівна,
ЧАСТІЙ Тетяна Володимирівна,
ШЕВЧЕНКО Юлія Володимирівна,
КУЧМА Ірина Юріївна,
ГОЛУБКА Ольга Вадимівна**

РАДІАЦІЯ ТА МІКРОБІОМ: ПЕРСПЕКТИВИ
ПРОБІОТИЧНОЇ ТЕРАПІЇ 308

**Evgen SHEPETKO,
Denis GARMASH,
Svitlana BURBURSKA,
Maxim BILYACHENKO,
Anastasia YASNA**

TOTAL GASTRECTOMY WITH JEJUNOGASTROPLASTY IN
SURGICAL TREATMENT OF ACUTE BLEEDING GASTRIC
CANCER. WAYS TO IMPROVE THE RESULTS 314

PHARMACY

**ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна,
НІЖЕНКОВСЬКА Ірина Володимирівна**

ТЕХНОГЕННІ КАТАСТРОФИ: НАПРЯМКИ ХІМІКО-
ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КСЕНОБІОТИКІВ 319

PSYCHOLOGY

**Nataliia MYKHALCHUK,
Yevhen KHARCHENKO,
Eduard IVASHKEVYCH,
Ernest IVASHKEVYCH**

PHYLOSOFICAL AND PSYCHOLOGICAL MECHANISM
OF SOCIO-ECONOMIC REHABILITATION OF THE
AFFECTED TERRITORIES OF KYIV REGION AS
THE RESULY OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL
NUCLEAR POWER PLANT 324

SOCIAL SCIENCES

Hrygoriy HRYBAN,
Pavlo TKACHENKO,
Ostap SKORUY,
Olena PANTUS

RADIATION POLLUTION OF THE ENVIRONMENT
 AS A RESULT OF THE CHORNOBYL DISASTER AND
 ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH 344

TECHNICAL SCIENCES

Serhii PUZIK,
Valentyna GROZA,
Oleksandr ZAPOROZHETS,
Serhii ZOZULIA,
Maksym KOVHAN

REGENERATION OF THE SURFACE OF POLLUTION
 DEPOSITION OF POWER CLEANERS WITH DETERGENT 352

**MEDICINE AND PHARMACY: CURRENT ISSUES OF GENERAL
 MEDICAL AND PHARMACEUTICAL PRACTICE IN WAR TIMES**

based on the materials of the scientific and practical
 online conference with international participation
 on May 14, 2025

БОНДАРЕНКО Дмитро Анатолійович,
ДОРОШЕНКО Тетяна Сергіївна,
МАКСИМЕНКО Юлія Андріївна

ЩОДО ПОШИРЕНOSTІ НАДЛИШКОВОЇ МАСИ ТІЛА
 ТА ОЖИРІННЯ СЕРЕД ЖІНОК МОЛОДОГО ТА
 СЕРЕДНЬОГО ВІКУ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ 359

ВАРТОЛОМЕЄВА Тетяна Володимирівна

АКТИВНІ ФАРМАЦЕВТИЧНІ ІНГРЕДІЄНТИ У СКЛАДІ
 ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ СУМІШЕЙ: БЕНЗОЇЛПЕРОКСИД,
 ІЗОТРЕТИНОЇН, АЗЕЛАЇНОВА КИСЛОТА 363

Olena WELCHINSKA,
Pawel SYSA

STANDARDIZED METHODS FOR ANALYSIS OF THE ACTIVE
 SUBSTANCE TRIAMCINOLOL IN VETERINARY 368

ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна,
НІЖЕНКОВСЬКА Ірина Володимирівна

СУЧАСНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ АНАЛІЗ: ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ
 ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ 373

**ЗАЙЦЕВА Галина Миколаївна,
ГОЖДЗІНСЬКИЙ Сергій Мартинович,
ПУШКАРЬОВА Ярослава Миколаївна**

НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА «ОСНОВИ
ПАТЕНТОЗНАВСТВА»: ПРОБЛЕМИ, ВИКЛИКИ
ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ 378

**Volodymyr ZAITSEV,
Galyna ZAITSEVA**

COMPETENCY-BASED APPROACH TO TEACHING
PHYSICO-CHEMICAL METHODS OF ANALYSIS
IN MODERN PHARMACEUTICAL EDUCATION 382

**ПУШКАРЬОВА Ярослава Миколаївна,
ЗАЙЦЕВА Галина Миколаївна**

ХЕМОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ У СУЧАСНІЙ ФАРМАЦІЇ 391

Kateryna SMETANINA

GERIATRIC PATIENTS IN FOCUS OF SPECIALIZED
PHARMACEUTICAL CARE 398

ТРОЦЕНКО Єлизавета Павлівна

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
СУБСТАНЦІЙ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ
ФАРМАКОПЕЙНИМИ МЕТОДАМИ 401

**ХАРЛАМПОВИЧ Софія Андріївна,
ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна**

КОМБІНАЦІЯ МЕТОДІВ ГАЗОВОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ–
МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ
ПЕСТИЦИДІВ У ЛІКАРСЬКІЙ РОСЛИННІЙ СИРОВИНІ 406

**ЧУБЕНКО Олександр Владкович,
ГУЗЕНКО Наталя Валеріївна,
ЧОРНА Ольга Володимирівна**

АНАЛІТИЧНА ДІАГНОСТИКА НОВИХ ПСИХОТРОПНИХ
РЕЧОВИН В БІОЛОГІЧНОМУ МАТЕРІАЛІ ЛЮДИНИ –
СУЧАСНІ ВИКЛИКИ 410

МАКСИМЕНКО Сергій Дмитрович

МЕНТАЛЬНЕ ПРОТИСТОЯННЯ ЗАГРОЗАМ: ГЕНЕТИЧНИЙ ПІДХІД
ДО ПОДОЛАННЯ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ,
ПАНДЕМІЇ COVID-19 ТА ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ ЯК ГЛОБАЛЬНОЇ
ЗАГРОЗИ МАЙБУТНЬОМУ ЛЮДСТВА І ШЛЯХИ РЕАБІЛІТАЦІЇ
ЧЕРЕЗ ГЕНЕТИКО-КРЕАТИВНУ СТРАТЕГІЮ 416



Computer science

Oleksandr ROMANIUK,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vinnytsia National technical university
ORCID ID: 0000-0002-2245-3364

RAY TRACING METHODS FOR FORMING THREE-DIMENSIONAL GRAPHIC IMAGES

Ray tracing¹ rendering techniques are the foundation of photorealistic visualization of 3D scenes because they accurately model the propagation of light, including direct and indirect illumination, reflections, refraction, shadows, and caustics.

Classic ray tracing² (Whitted-style Ray Tracing) is a basic method of photorealistic rendering (Fig. 1), proposed by Thierry Whitted in 1980, which laid the foundation for modern global illumination algorithms. In this approach, a primary ray is emitted for each pixel of the image from the observation point (camera) towards the scene. When this ray intersects the surface of the object, the system determines the point of contact and calculates local illumination based on lighting models such as the Phong or Lambert model.

To account for more complex visual effects, new rays are created at the intersection point: reflection, refraction and shadow ray. They are passed according to the optical properties of the material – specularity, transparency, refractive index – and allow the creation of shadows, specular reflections and refraction effects.

The method is deterministic: each ray generates a limited number of new rays, so the computational complexity increases logarithmically with the depth of the reflections. However, because this approach does not account for multiple

1 Romaniuk, ON, Bobko, OL, & Romaniuk, OV (2024, September 26–27). Prospects for using change tracking technology to create photorealistic images in real time. Computer games and multimedia as an innovative approach to communication – 2024: Proceedings of the IV All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students (pp. 327–328). Odesa, Ukraine; Romaniuk, ON, & Zaválnyuk, Ye. K. (2024, May 29–31). Methods of reverse tracing of changes. Development of modern science and education: realities, quality problems, innovations: Proceedings of the V International Scientific-Practical Internet Conference (pp. 119–124). Zaporizhzhia, Ukraine

2 Zeng, J., Bao, C., Chen, R., Dong, Z., Zhang, G., Bao, H., & Cui, Z. (2023). Mirror-NeRF: Learning neural radiance fields for mirrors with Whitted-style ray tracing. ACM Transactions on Graphics, 42(1), 1–13.

scattering of light between surfaces, it does not model global illumination effects such as color casts, caustics, or soft shadows from indirect sources. Despite this, classical ray tracing produces a clear, high-contrast image with sharp shadows, clear reflections, and basic optical effects, making it an important foundational step in the development of more complex tracing systems.

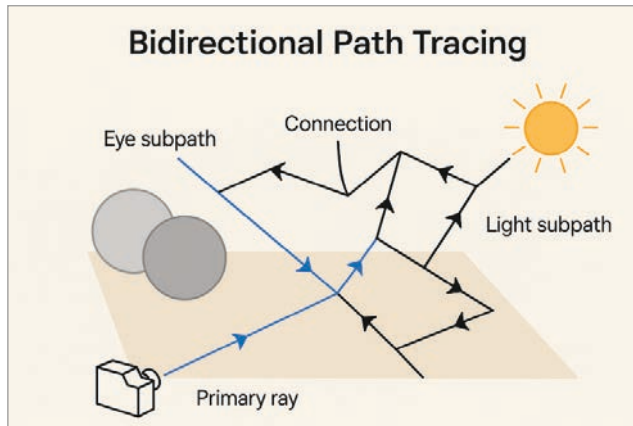


Fig. 1. Whitted-style Ray Tracing

Acceleration systems such as Bounding Volume Hierarchies or kd-trees are commonly used to efficiently find ray intersections with scene geometry, reducing the computational burden. This method is well suited for scenes with solid objects, glass, or mirror materials, where direct rays of light play a major role, rather than multiple reflections or scattering. In graphics engines, classical ray tracing is often combined with other techniques or used as a basis for extensions to path tracing or photon mapping.

Path Tracing³ is a physically correct global illumination method that models the propagation of light in a 3D environment through stochastic ray tracing. Its basic idea is that for each pixel in the image, a ray is emitted from the camera, which intersects the scene, finds a point of contact with an object, and generates random rays that simulate the reflection of light according to the BRDF function of the surface. New rays can also be generated at each new intersection, until either the ray reaches the source light, or will not be stopped. As a result of this process, the average value of the light energy arriving at the camera along random trajectories is calculated for each pixel.

³ Jakob, W., & Marschner, S. (2010). Path tracing in real-time graphics. *Journal of Computer Graphics Techniques (JCGT)*, 1(2), 34-50. URL: <https://www.jcgt.org/published/01/02/02>.

Path tracing⁴ (Fig. 2) automatically takes into account all components of global illumination: indirect illumination, diffuse overillumination, color translucency, soft shadows, caustics, reflections and refraction. The method is much simpler to implement than, for example, photon mapping or bidirectional path tracing, but requires a large number of samples per pixel to achieve a low noise level. Because of this, an image obtained with a small number of rays looks grainy, and for a high-quality result, either a long calculation or the use of denoising methods is required.

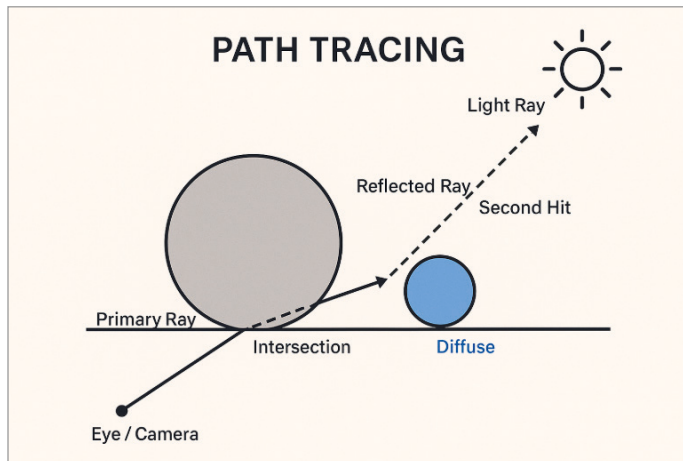


Fig. 2. Path Tracing method

The illumination calculation is done using the Monte Carlo integration method, where the choice of the scattering direction is based on a weighted sampling. An important part of the algorithm is the selection of the direction of the new ray taking into account the BRDF of the material: for mirror surfaces – the direction of reflection, for transparent – refraction, for diffuse – a random direction in the hemisphere. To prevent infinite generation of rays, the path termination technique is used.

Path tracing is widely used in offline rendering, for example, in photorealistic animations, architectural visualization and VFX. Due to its simplicity of implementation and high physical fidelity, it is implemented in renderers such as Cycles (Blender), Arnold (Autodesk), LuxCoreRender, Corona, Redshift (hybrid) and others. In recent years, with the development of GPU computing power and accelerated ray tracing

⁴ Pharr, M., & Humphreys, G. (2016). Physically based rendering: From theory to implementation (3rd ed.). Morgan Kaufmann. ISBN: 978-0128006450.

technologies (RTX, DXR), the path tracing method has begun to be used in real time, in particular in game engines such as Unreal Engine 5.

In general, path tracing provides the highest level of realism among rendering methods, but it requires significant computational resources. Optimization of sampling, use of denoisers (e.g., based on neural networks), adaptive sampling, and combination with other methods (e.g., with directional lighting or simplified photon mapping) allow its effective application even in dynamic scenes.

Bidirectional Path Tracing⁵ (Fig. 3) is an advanced stochastic global illumination method that models light transmission in complex scenes, combining the advantages of conventional path tracing and source-dependent light tracing.

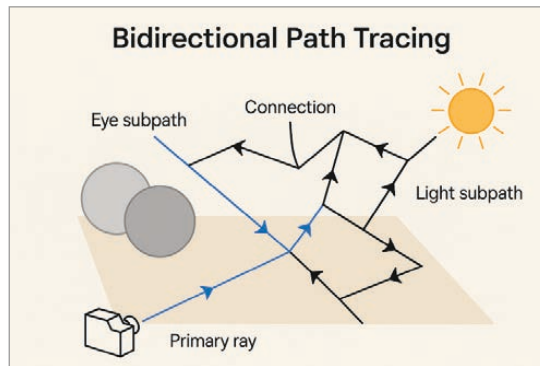


Fig. 3. Bidirectional Path Tracing

The basic idea of the method is to simultaneously construct two types of paths: one path is created from the camera and the other from the light source. At the points where these two paths intersect or connect, a complete trajectory is created, which is used to estimate the contribution of light to a given pixel. Unlike classic path tracing, where light sources can only be reached randomly, bidirectional path tracing allows you to effectively capture all significant light paths, including caustics, indirect lighting, and complex interactions between scene objects.

When constructing each trajectory, the method uses stochastic sampling based on BRDF and light models, similar to standard path tracing. However, additional source-dependent sampling allows for higher efficiency in situations where light is difficult to reach from the camera due to multiple

⁵ Parker, SG, & Shirley, P. (2008). Bidirectional path tracing in theory and practice. *Journal of Computer Graphics Techniques (JCGT)*, 2(4), 60–85. URL: <https://www.jcgt.org/published/02/04/03>.

obstacles or high refractive index. Each path consists of a sequence of vertices (nodes), and the algorithm attempts to connect points on the path from the camera to points on the path from the light source to form useful trajectories. For each connected trajectory, a weight is calculated based on the scattering function (BSDF), the scene geometry, and the visibility coefficient between the points.

Since possible connections between subpaths are generated at each step, it is necessary to balance the probability weights of these connections to avoid double counting or noise. To do this, the Multiple Importance Sampling (MIS) technique is used, which optimally combines the results from different path selection strategies, minimizing variance and ensuring stable convergence of the illumination integral. Using MIS allows you to avoid the dominance of less efficient sampling options, for example, when only one of the directions (from the source or from the camera) leads to a significant contribution.

The advantages of bidirectional path tracing are its better ability to simulate complex lighting phenomena, including caustics (e.g., light reflecting off a glass of water), indirect light in enclosed environments, and more stable convergence with a small number of samples per pixel. The main disadvantages are its complexity in implementation, the need for additional data structures for subpath tracing, and the increased computational burden due to the need to connect many combinations of nodes.

This method is implemented in leading offline renderers such as LuxRender, Mitsuba, Arnold and partially in Cycles (Blender) when using lighting sampling. Combined with other techniques – for example, with Metropolis Light Transport (MLT), which use the ideas of path selection optimization – bidirectional path tracing forms the basis of modern physically accurate rendering. Its application is especially effective in scientific visualization, architectural rendering and VFX, where the accuracy of lighting modeling is critically important.

Metropolis Light Transport (MLT) (Fig. 4) is a powerful stochastic rendering algorithm based on the Monte Carlo integration method using stochastic sampling according to the Metropolis method. Its main goal is to efficiently simulate global illumination in complex scenes where classical methods such as path tracing or bidirectional path tracing exhibit slow

convergence or high dispersion. MLT⁶ works especially well in complex lighting conditions such as caustics, indirect light, narrow light passages, or scenes with small openings through which light rarely penetrates when randomly sampled.

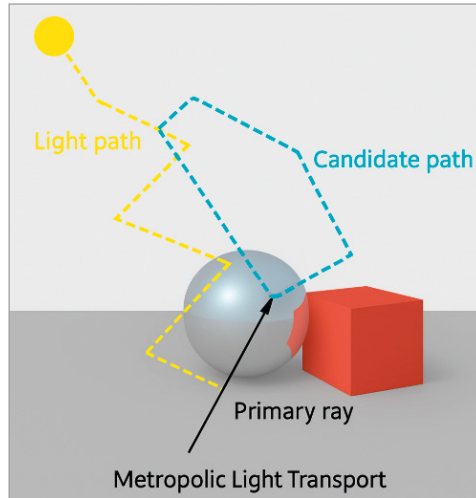


Fig. 4. Metropolis Light Transport method

Unlike classical methods, which generate an independent ray path for each iteration, MLT builds new paths by stochastic modification of an already found path.

If a new trajectory is accepted, it is added to the accumulation of light contribution, and it becomes the basis for further perturbations. If the path is rejected, the previous path is re-considered. Thus, the process simulates a Markov chain, which over time concentrates on important trajectories that have a large contribution to the image. As a result, this allows you to achieve a higher quality result with fewer samples compared to classic Monte Carlo rendering.

One of the key features of MLT is its ability to effectively handle phenomena that are rarely encountered in standard random sampling – for example, light passing through a small slit and focally reflecting off a certain surface.

Along with the main version of MLT, several variations have been developed, including Bidirectional Metropolis Light Transport, which combines the advantages of bidirectional ray tracing with a stochastic trajectory perturbation

⁶ Keller, A. (1997). *Radiosity and the Metropolis light transport method*. *Computer Graphics Forum*, 16(2), 99–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00123>

mechanism, and Primary Sample Space Metropolis Light Transport, which performs perturbations not in the geometric space of trajectories, but in the space of primary sampling parameters, which facilitates implementation and allows the method to be integrated into standard render engines.

Metropolis Light Transport is widely used in high-fidelity offline rendering for VFX, architectural visualization, scientific simulation, and the film industry. Well-known implementations include renderers such as Mitsuba, PBRT, and experimental systems in academic research.

Photon Mapping⁷ (Fig. 5.) is a two-step stochastic global illumination method developed by Henrik Wann Jensen in 1995 that allows for efficient modeling of complex lighting effects, including caustics, indirect lighting, and color casts. Unlike classical path tracing, which calculates illumination by generating rays from the camera, photon mapping works by emitting photons from light sources into the scene and then using information about their distribution to calculate illumination at the intersection points of the rays emitted from the camera.

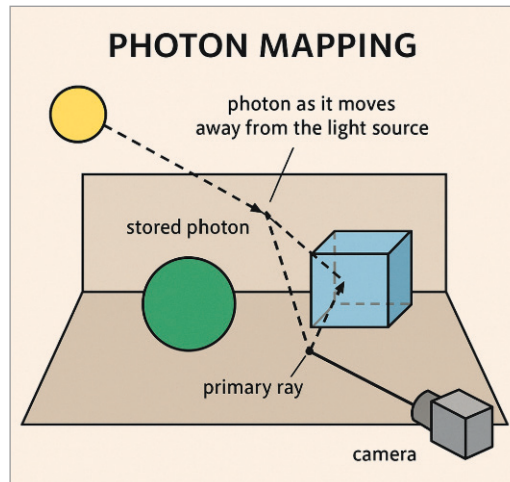


Fig. 5. Photon Mapping

The algorithm consists of two main stages: building a photon map and rendering. In the first stage, light sources emit a large number of photons that spread across the scene, interact with objects, and at certain points of collision, the photons are stored in a special structure – a photon map.

⁷ Jensen, HW (2001). Photon mapping in real-time rendering. In Proceedings of the 28th annual conference on computer graphics and interactive techniques (pp. 69–76). ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/383259.383287>.

Each photon has coordinates, direction, energy (or power), and type of interaction with the surface. Typically, separate maps are constructed for caustics (photons that have passed through focusing materials), global illumination, and direct light .

In the second stage, when the camera emits rays for rendering, at the point of their intersection with the scene object, the system performs a local search in the photon map. Within a radius of a certain distance, a set of photons that fell on this area is determined, and based on their intensity and direction, the density of the light flux is calculated. Most often, the density estimation method is used for this, where the total energy of photons in the radius is normalized to the area of the search sphere. This allows you to estimate indirect lighting, taking into account scattering and interaction of light with other objects.

An important advantage of photon mapping is its ability to accurately model caustics, the focused rays that occur, for example, when light passes through glass or water objects. While conventional methods often cannot generate such paths due to their rarity, photon mapping preserves photons in the areas where these effects occur, providing a detailed result with a relatively small number of samples from the camera. This method also provides well-controlled computation through parameters of search radius, number of photons, weighting (e.g. cone filtering) and can be combined with other approaches, such as final gather, to improve quality.

The disadvantages of photon mapping are the need for a complex data structure – usually a kd-tree or priority search tree to quickly find the nearest photons, the complexity of parameter tuning, and the appearance of artifacts at the boundaries of dense and sparse regions of the photon distribution. However, by dividing the computational process into two stages, the method scales very well and can be effectively used for scenes with a large number of light sources and complex geometry.

Photon mapping is actively used in scientific rendering, architectural visualization, simulation of optical effects, and software where control over computing resources is required.

The Metropolis Light Transport (MLT) (Fig.6) method is one of the most effective global illumination techniques used in physically correct rendering of photorealistic images. Unlike classical ray tracing, where a large number of light

paths are generated independently of each other, MLT⁸ is based on the idea of mutating already found effective light paths. The algorithm starts (Fig. 6) with the initial path that runs from the camera to the light source, and then makes local changes to this path, creating new variants. Each new path is accepted or rejected based on its contribution to the final image – if the new path gives a significant increase in illumination, the probability of its acceptance increases. This approach allows you to focus on those parts of the illumination space that make the greatest contribution to the final image, which significantly increases the sampling efficiency. The method works in complex scenes with complex geometry, caustics, specular or transparent objects, and small light sources, where traditional tracing or photon mapping methods require a large number of samples to achieve acceptable quality.

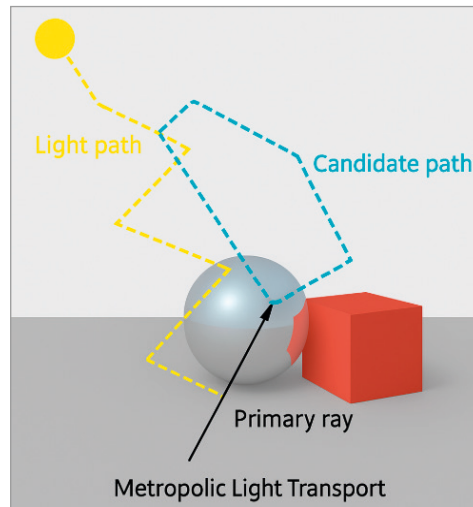


Fig. 6. Metropolis Light Transport method

Real-time⁹ ray tracing (Fig. 7) is a rendering method used in computer graphics to simulate the behavior of light in a scene with a high level of realism.

Unlike traditional rasterization, which approximates lighting effects, ray tracing simulates the physical interactions of light rays as they pass through a scene. This includes reflections, refraction, shadows, and global illumination such as diffuse reflections and caustics.

8 Schmidt, M., Lobachev, O., & Guthe, M. (2016). Coherent Metropolis Light Transport on the GPU using Speculative Mutations. *Journal of WSCG*, 24 (1), 1–8. Retrieved.

9 Schmidt, M., Lobachev, O., & Guthe, M. (2016). Coherent Metropolis Light Transport on the GPU using Speculative Mutations. *Journal of WSCG*, 24 (1), 1–8. Retrieved.

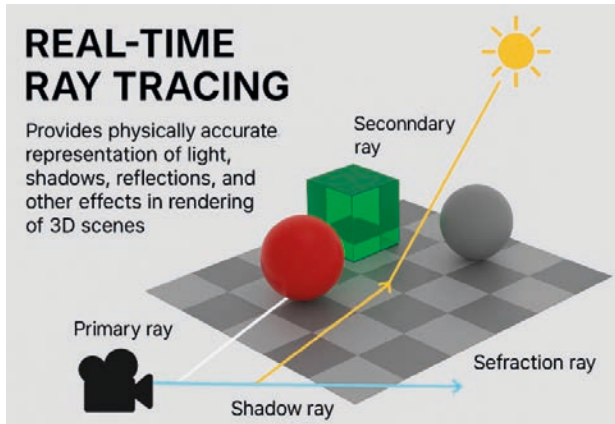


Fig. 7. Real-time ray tracing

To achieve real-time execution on modern graphics hardware, especially on GPUs with ray tracing support (such as the NVIDIA RTX series), these calculations are accelerated using specialized cores, known as RT cores, which are optimized for the parallel processing required for ray tracing operations. To optimize the balance between image quality and performance, denoising and hybrid rendering techniques are often used, where ray tracing is combined with rasterization.

While real-time ray tracing is still computationally expensive, advances in hardware and software, such as using ray tracing only for specific effects (such as reflections and shadows), have made the method more accessible for real-time rendering, resulting in more realistic graphics and immersion in virtual environments.

Reservoir-based Spatiotemporal Importance Resampling (ReSTIR) is a technique used in rendering to improve the efficiency of real-time rendering. Its main goal is to reduce noise in images while maintaining a high level of quality and detail, especially when using ray tracing techniques. The technique works on the principles of importance resampling , which allows you to selectively store the most significant light samples to improve rendering quality.

ReSTIR is based on the use of reservoir resampling , which allows data points (e.g. pixel luminance) to be selected for resampling based on their significance, which can reduce computational cost and noise in the final image. This is important because ray tracing methods can be very computationally demanding, especially in real time.

ReSTIR¹⁰ combines techniques commonly used in traditional rendering with methods that allow for significant resampling in space and time. This allows for significant improvements in lighting accuracy in complex scenes, such as those involving reflections, refraction, or soft lighting, where accuracy and detail are critical to image quality. An important characteristic of ReSTIR is its ability to achieve high image quality without significantly increasing computational costs, thanks to efficient use of memory resources and resampling of the most important points. This allows the use of real-time ray tracing methods, which was previously not possible due to high computational complexity. Due to its ability to improve visual quality while significantly reducing noise and computational costs, ReSTIR is a powerful tool for use in industries such as computer graphics, video games, as well as in real-world visualization systems for simulations and media. This method opens up new possibilities for rendering complex scenes with high efficiency.

Ray Marching¹¹ (or Sphere Tracing) is a method of rendering implicit surfaces that differs from classical ray tracing in that it does not calculate exact intersections of analytically given geometry (e.g. polygons), but steps along a ray in the direction of the camera using surface distance functions. This method is most often used for rendering scenes (Fig. 8) built on the basis of Signed Distance Functions (SDF) – functions that for any point in space return the minimum distance to the nearest surface: a negative value indicates that the point is inside the object, a positive value indicates that it is outside, and zero indicates that it is on the surface.

The essence of the method is that a ray is emitted from each point on the screen and moves in the direction of the scene. At each step of the movement, the value of the signed distance function is calculated at the current point of the ray – this value is used as a safe step length forward, that is, it is guaranteed not to collide with any surface if you do not approach closer than this distance. Thus, the ray gradually "approaches" the surfaces of objects. If at a certain step the SDF value becomes less than a certain threshold ε (for example, 0.001), it is considered that the ray has reached the surface. In this case, the normal to

10 Noh, H., Lee, H., & Kim, J. (2020). Reservoir-based spatiotemporal importance resampling for efficient environmental monitoring. *Journal of Environmental Informatics*, 32(4), 45-57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105021>.

11 11 Lengyel, E. (2016). *Ray tracing and ray marching techniques for high-quality graphics*. In *Real-Time Rendering* (pp. 120-135). CRC Press.

the surface, illumination, reflection and other parameters for the fragment are calculated. If the ray has not reached the surface to the maximum radius or number of steps, it is considered that it has not collided with any object, and the fragment is background.

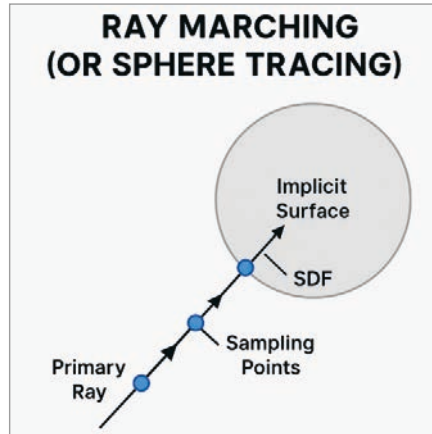


Fig. 8. Ray Marching

Ray marching is particularly well suited for rendering complex fractal objects (e.g. Mandelbulb, Mandelbox), surfaces that cannot be easily described polygonally, or scenes where the geometry is procedurally generated. SDF also allows for easy merging, cutting, or intersecting of objects via Boolean operations on functions (Constructive Solid Geometry – CSG), smooth union, and even real-time deformation of geometry by modifying distance functions.

The advantages of the method include: ease of implementation in fragment shaders (GLSL, HLSL), high flexibility in geometry construction, good scalability for GPU, no need to store complex meshes or BVH structures. Among the disadvantages: the method does not guarantee fast convergence in scenes with sharp surface differences, it is difficult to model complex textures or transparent materials, it is difficult to integrate with classic rendering scenes, and there is a risk of «skipping» through narrow elements of the scene if the SDF incorrectly describes the geometry.

Ray marching is often used in demo scenes, generative art, interactive web projects on ShaderToy, and as a tool in scientific visualization and wave process simulation. Modern applications also include neural fields, where a signed distance function is approximated using small neural networks for 3D reconstruction or content generation.

The implementation of ray tracing methods on GPUs relies on parallel computing and the use of specialized hardware blocks such as RT Cores (in NVIDIA RTX), Ray Accelerators (in AMD RDNA2/3) or Ray Tracing Units (Intel Xe). Below is an overview of how different ray tracing methods are implemented on GPUs:

Ray tracing methods are implemented on GPUs because of their massively parallel nature. Each pixel of the screen or voxel of the scene is processed independently, making the GPU ideal for firing large numbers of rays simultaneously. The simplest implementation on GPUs is classic Whitted-style ray tracing, where a single primary ray is fired for each pixel, and secondary rays (reflections, refraction, shadows) are generated when intersecting with an object. This approach does not take into account indirect lighting, but can be implemented using compute shaders, CUDA, OpenCL, or APIs such as DirectX Raytracing (DXR) and Vulkan RT.

Path tracing, which is a physically correct method of global illumination, is also implemented on the GPU, but with some limitations. The GPU processes thousands of rays in parallel and performs BRDF calculations, scattering direction selection, clipping through BVH, and generating new rays on each bounce. It also uses the Russian Roulette technique to eliminate unimportant paths, and AI denoisers (such as NVIDIA's OptiX) to clean up the result with a small number of samples. Path tracing is supported in engines like Blender Cycles, Redshift, Arnold GPU, and in some interactive demos that use RTX.

Bidirectional path tracing on the GPU is more difficult to implement, as it requires constructing trajectories not only from the camera, but also from light sources. For each such subpath, the GPU stores the collision points and tries to connect them, calculating visibility. This requires more memory, buffers, and complex logic, which limits real-time efficiency. Typically, such an implementation is used in offline renderers (Mitsuba, LuxCoreRender), where speed is not critical.

The Metropolis Light Transport (MLT) method is difficult to implement on GPUs due to its sequential nature. It is based on constructing a single ray path and successively mutating that path. Since such modifications depend on the previous state, full parallelism is difficult. However, batch implementations are possible, where the GPU processes several independent Markov chains

simultaneously. In such implementations, it is important to preserve the current state of the path and effectively apply the Metropolis criterion.

Photon mapping is implemented on the GPU in two stages. In the first stage, the GPU emits millions of photons from light sources that pass through the scene and store them in a photon map – usually in the form of a kd-tree or a spatially indexed buffer. In the second stage, rays from the camera are traced, which at the intersection points look for the nearest photons in this buffer. This allows the GPU to calculate indirect illumination based on the photon density. For efficiency, cone filters, progressive smoothing, or a final gather phase are often used.

Real-time ray tracing is implemented through hardware acceleration. NVIDIA uses RT Cores, which perform ray intersection with triangles and BVH tracing in hardware. DXR in DirectX 12 and Vulkan RT in Vulkan provide the programmer with a new type of shaders – RayGen, ClosestHit, Miss, which the GPU processes with support for BVH structures. A hybrid rendering model, where rasterization performs the basic geometry, and ray tracing only shadows, reflections or global illumination, allows you to achieve a realistic result in real time.

Ray marching is implemented as a pure shader approach on the GPU, usually in fragment shaders (GLSL or HLSL). Each pixel fires a ray that gradually steps along the direction of the scene, using the value of a signed distance function (SDF) to determine a safe step. If the ray reaches the surface, the normal and illumination are calculated, if not, the processing stops. This approach is very effective in procedural rendering, such as in ShaderToy or WebGL, where all the geometry is given by formulas.

The ReSTIR method is implemented on the GPU through a combination of compute shaders that control the selection of light sources, and buffers for temporal and spatial redistribution. At each pixel, the GPU creates a set of lighting candidates, selects them through importance sampling, and stores them in a reservoir (reservoir sampling). Information from previous frames is used to improve stability (temporal reuse), and resampling of neighboring pixels is used for spatial smoothness (spatial reuse). ReSTIR allows tracing only 1–2 rays per pixel, making it suitable for real-time use even in scenes with thousands of light sources.

Therefore, the implementation of ray tracing methods on GPUs largely depends on the type of method: some of them are well parallelized (path tracing,

photon mapping), some are difficult to implement in real time due to recursion (bidirectional, MLT), and the latest methods (RTX, ReSTIR) combine algorithmic optimizations with hardware support, which allows achieving realistic lighting even in dynamic game scenes.

Combining the direct rendering method (rasterization) with the ray tracing method is widely used in modern computer graphics systems, especially in real-time. This approach is called hybrid rendering, and its essence lies in the fact that the basic image of the scene – geometry, textures, materials – is formed by the traditional rasterization method, and the calculation of complex lighting effects, such as soft shadows, specular or blurred reflections, refraction, caustics, global illumination or ambient occlusion – is performed by ray tracing. This allows you to combine the advantages of both approaches: the speed of rasterization and the physical accuracy of tracing.

In hybrid systems, rasterization is used to render the bulk of the scene, including depth buffer calculations, screen pixel filling, and pre-calculation of materials and normals. Ray tracing is then applied only to selected pixels or regions where accurate light simulation is required. For example, in the case of a mirrored surface, a ray is traced from the pixel in the direction of reflection, the intersection with other objects is determined, and the result is blended to the final color. Similarly, for shadows, only one ray can be traced to the light source, checking for obstructions, instead of using traditional shadow maps.

This combination allows for a significant reduction in computational costs compared to full ray tracing. Many engines (e.g. Unreal Engine 5, Unity HDRP, Frostbite) implement hybrid algorithms, where geometry processing and most shading operations are performed by GPU rasterization, and tracing is called only at the post-process level or in individual shaders. Using the DirectX Raytracing (DXR) or Vulkan Ray Tracing API, developers can selectively use `TraceRay()` in the middle of pixel or compute shaders, while the main part of the scene is rendered by the classic pipeline.

Hybrid rendering also allows for optimized memory usage: for example, trace results can be stored in buffers and reused in subsequent frames or during animation. This opens up possibilities for implementing techniques such as screen-space reflections with fallback to ray tracing or reflections from previous frames.

Thus, the combination of direct rendering and ray tracing is practical and strategically important for achieving photorealism while maintaining performance. This is especially important in game graphics, virtual reality, augmented reality, interactive visualization of architectural scenes, where it is necessary to instantly respond to user or lighting changes. With the development of hardware, in particular RT cores, such a combined scheme has become the standard for modern graphics engines and will be the basis of next-generation rendering.

In addition to the technical feasibility of combining the direct method (rasterization) with ray tracing, there is also a deep conceptual feasibility of such an integration. Direct methods are real-time classics based on the projection of a polygonal scene onto the screen with subsequent light processing via shaders, but they have a number of fundamental limitations. For example, shadows are often created using shadow maps, which have limited resolution and cause artifacts at the edges; reflections are built using environment maps or screen-space reflections, which do not cover objects outside the visible space. The raster pipeline cannot accurately account for multiple light scattering, caustics, or refraction through transparent materials with complex geometry.

Ray tracing, on the other hand, is based on the physical principles of light propagation, but is computationally expensive. This is why the combined approach allows for intelligently distributing computations. Visually simple areas of the scene (e.g., large walls, floors, uniform lighting) are processed by rasterization, while complex areas—transparent objects, shiny surfaces, soft shadows, caustics—are traced selectively. This can be implemented as a dynamic solution in the engine itself: for example, the system automatically determines where it is appropriate to activate ray tracing based on the complexity of the shading or the current camera position.

Modern hybrid renderers implement even deeper levels of integration. For example, ray tracing results are used not only for the final image, but also for building the G-buffer in the deferred rendering pipeline. Rays can also be fired in compute shaders to pre-calculate lighting (for example, in deferred global illumination passes), the results of which are cached in a lighting grid or voxel representation. This opens the way to new methods such as voxel cone tracing, which is itself a hybrid of tracing and volumetric lighting.

Another interesting perspective is the interaction of ray tracing with screen-space methods: for example, screen-space ambient occlusion (SSAO) can be augmented with ray-traced ambient occlusion (RTAO) only in areas where SSAO fails. Similarly, screen-space reflections (SSR) can be replaced with ray traced reflections only in pixels where SSR does not see the necessary geometry (e.g., off-screen or behind objects).

In a hybrid approach, multi-level tracing is also possible – where the first bounce is performed by ray tracing, and subsequent bounces are estimated by empirical models or by approximation using cache or screen-space information. Such compromise schemes are already actively implemented in Lumen (Unreal Engine 5), RTXGI (NVIDIA Global Illumination), and in engines like Frostbite from EA.

So, combining direct method and ray tracing is not just a compromise, but a strategically correct architecture for the future of visualization. It allows you to flexibly adapt rendering to the current workload, scene, device type (desktop, console or mobile chip), while maintaining visual quality, control over computational costs and support for the latest physically based effects. This approach forms the basis of next-generation visualization standards.

Promising developments in ray tracing methods focus on achieving physical accuracy at high speed, reducing noise, and optimizing for real-time. Among the most relevant areas of development are the use of artificial intelligence, new sampling schemes, hybrid rendering, neural fields, and hardware innovations. One of the key achievements of recent years is the emergence of neural ray tracing, where tracing results are improved using deep neural networks. The most common example is neural denoisers such as NVIDIA OptiX or Intel Open Image Denoise, which allow achieving photorealistic images even with a very small number of samples. Neural methods are also used for importance sampling, approximation of lighting functions, and even for full scene reconstruction based on neural radiation fields, such as NeRF.

The most promising direction for real-time is ReSTIR (Reservoir-based Spatiotemporal Importance Resampling), which allows tracing only one or two rays per pixel, reusing information from previous frames and neighboring pixels. Its extension ReSTIR GI adds the ability to simulate indirect lighting, and ReSTIR PT – full path tracing with one or more reflections. By combining stochastic selection with adaptive accumulation of results, ReSTIR allows you

to reproduce global illumination in dynamic scenes with complex placement of light sources.

Adaptive Path Tracing is also actively developing, where the number of rays in each pixel depends on the local complexity of the scene – contrast, the presence of caustics or shadows. This allows you to effectively distribute computing resources, concentrating them in critical areas. At the same time, wavefront path tracing 2.0 allows you to optimize classic path tracing on the GPU, breaking the tracing stages into separate phases with effective processing in the form of vectorized waves (wavefronts), which allows you to reduce the branching of streams on the GPU and speed up tracing.

In the real-time sphere, the role of ray tracing with lighting caching (Radiance Caching) is growing, when the results of previous tracings are stored in buffers and reused in subsequent frames. This approach is widely used in the Unreal Engine 5 engine through the Lumen system, which provides soft indirect lighting and global effects with a minimum number of new traced rays. The direction of hybrid rendering is also promising, when geometry is processed by classical rasterization, and complex optical effects – mirrors, transparency, refraction – are traced separately, as needed. Some systems already implement automatic switching between methods depending on the complexity of the scene (adaptive hybrid rendering).

Neural Radiance Fields (NeRF) are attracting much attention, as they allow us to represent a scene not through geometric meshes, but as a continuous function parameterized by a neural network. Tracing in such a scene does not require the classical BVH structure and is performed through model inference for each ray. This approach is gradually being integrated with ray tracing for virtual reality visualization, 3D scanning, and photogrammetry tasks.

On the hardware side, next-generation RT cores are being developed (e.g., RT Core 3.0 in NVIDIA Ada Lovelace, Ray Accelerators in AMD RDNA3), which not only provide faster ray-tracing, but also support new mechanisms like Shader Execution Reordering (SER), which dynamically reorders computations to reduce branching in ray tracing. This improves efficiency when rendering scenes with diverse BRDFs, complex geometry, and shadows.

Another direction is adaptive sampling with learning, when the system, based on the previous frame or several frames, learns to determine which areas of the scene need more ray tracing. For this, reinforcement learning

methods, Bayesian models, or lightweight networks are used, which optimize the distribution of calculations in space and time. At the same time, denoising is also evolving – modern models based on transformers are better at restoring details in complex scenes, taking into account the global context, and are gradually replacing classic convolutional networks.

Thus, the future of ray tracing is a combination of classical physically correct models with statistical, stochastic, hybrid and neural approaches. They are integrated with hardware acceleration, adaptive mechanisms and new representations of the scene – from geometry to neural fields. In the coming years, ray tracing is expected to go beyond cinema and scientific visualization and become the standard not only for AAA games, but also for ordinary interactive environments, simulations, architectural design and educational applications.

Ray tracing techniques are the main tools for creating photorealistic images, as they allow you to model complex physical processes such as refraction, reflection and shadows. The choice between classical and physically correct ray tracing depends on the goals: classical ray tracing is suitable for simple scenes where you only need to define reflections and basic shadows, while physically correct ray tracing (PBR) is used to achieve more realistic results, especially when modeling materials and lighting. An important aspect is the use of global illumination, which includes modeling indirect light reflections and allows you to create more natural images where light reflects off objects in the scene and interacts with each other. To reduce the computational load when tracing rays, it is recommended to use methods such as spatial partitioning (for example, BVH – Bounding Volume Hierarchy), which allow you to speed up the search for ray intersections with objects, as well as apply adaptive tracing, which skips less important parts of the scene. Since ray tracing is computationally intensive, the use of parallel computing such as GPUs or technologies such as CUDA and OpenCL can significantly speed up the rendering process. In addition, for more realistic results, it is important to take into account the absorption and dispersion of light when working with transparent materials such as water or glass. Also important aspects are the management of noise in the final image, especially for methods with a low number of reflected rays, for which denoising or Monte Carlo methods can be used. To achieve physically correct results, it is necessary to configure materials with an accurate definition of the refractive

index and light scattering. In addition, additional effects such as depth of field, refraction of light through lenses and stereoscopic effect can significantly improve the realism of the final image. When implementing ray-tracing-based animations, it is important to ensure consistency of lighting and materials across frames, using techniques such as Motion blur and Temporal Anti-Aliasing (TAA) to achieve smooth animation and reduce artifacts. A consistent approach to testing and correcting the scene allows you to effectively optimize the rendering, gradually moving to more complex methods, which allows you to achieve the desired results without significant performance losses. Ray tracing is a powerful tool for achieving high-quality visualizations, but its effective use requires deep knowledge and optimization, especially when working with complex and realistic scenes.

To further optimize ray tracing methods, additional approaches can be used, such as breaking the scene into smaller parts or using multiple ray tracing to model more complex interactions between objects and light. This allows effects such as reflections from complex surfaces, micro-details (such as pores on the surface of materials), and diffuse scattering in materials that may have previously been missed due to computational limitations.

Memory and compute optimization is also an important aspect to maintain high performance with complex scenes. Instead of storing the entire scene geometry in memory, deferred compute techniques can be used, in which only the parts of the scene needed for rendering are stored in memory. This can reduce the load on the hardware, especially when working with large amounts of data.

Also, to ensure realistic and interactive scenes, dynamic lighting models can be implemented, allowing lighting to adapt in real time based on changes in the environment or user interaction. This allows lighting to be adapted to each specific scene, providing higher accuracy in modeling reflections, shadows, and other effects.

When implementing ray tracing techniques for real-time, it is important to consider the trade-offs between realism and performance. Using techniques such as pre-computed light maps or pseudo-realistic models (e.g., simplifying material physics) allows you to achieve a balance between high performance and realistic appearance without having to perform complex real-time calculations.

To achieve the best results, it is also important to constantly monitor new hardware capabilities, such as RT cores in modern GPUs (e.g. NVIDIA RTX), which significantly speed up the ray tracing process through hardware acceleration. In such cases, it is important to effectively integrate hardware capabilities to achieve maximum results in a shorter time.

In general, ray tracing methods require a careful approach to optimization and adaptation for specific tasks. The use of modern technologies, as well as constant improvement of algorithms and hardware, allows you to significantly improve the quality of visualizations, ensure high performance even in real time, and create photorealistic scenes in a variety of applications – from games to professional graphics and data visualization.

Ray tracing techniques can be very computationally intensive, so various simplification techniques are often used to achieve high performance. One of them is ray marching, which allows ray intersections with scene objects to be checked in stages, reducing the number of calculations and allowing the use of less detailed geometry, which is especially effective for scenes with a large number of small objects or textures. Spatial partitioning techniques such as Bounding Volume Hierarchy (BVH) or Octree are also used to reduce the number of intersection checks, which organize the scene into a data structure, allowing for faster discovery of potential objects for intersection and speeding up the ray tracing process. In addition, precomputed lightmaps and shadow maps allow you to store previously calculated lighting and shadow data, reducing the load on real-time calculations. To simplify physical material models, models such as Phong reflection can be used instead of physically correct reflection models, which can reduce computation time and maintain sufficient realism for certain scenes. Reducing the number of ray reflections is also an effective way to simplify. This can be achieved by setting a maximum number of reflections or fading the ray after a certain number of reflections, which reduces the number of rays traced and speeds up the rendering process. To model indirect light reflections, global illumination approximations such as radiosity or ambient occlusion can be used, which significantly reduces the computational cost compared to accurately reproducing each reflected ray. Using Selective Ray Tracing, where only certain rays are traced, such as from the camera to objects or important rays, can significantly reduce the load on the system. Instead of using ray tracing alone, it can be combined with other rendering techniques, such as rasterization, to achieve a balance between

speed and quality, allowing for faster rendering without significant loss of quality. In addition, denoising techniques can reduce the number of samples required to achieve high image quality, which is important in methods that use stochastic approaches, such as Monte Carlo rendering. Simplifying the shaders used to calculate the interaction of light with materials also allows for faster rendering, using less complex models that still provide sufficiently accurate results for many scenes. Each of these techniques can be applied depending on the image quality and performance requirements, and the choice of a specific strategy depends on the specifics of the project and hardware capabilities.

Ray tracing techniques are key to creating photorealistic images, allowing for accurate modeling of complex physical phenomena, while at the same time, with optimizations, providing high performance in modern rendering technologies.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-9-30

Oleksandr ROMANIUK,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vinnitsia National Technical University
ORCID ID: 0000-0002-2245-3364

Yuliya KOVALOVA,
Director of «Alpaca School»
ORCID ID: 0009-0009-6691-1353

WEB DESIGN DEVELOPMENT CONCEPTS

Website design¹ is an important step in creating an effective and attractive web resource that combines aesthetics, functionality and user-friendliness. It covers both visual and structural aspects that form the overall impression of the site. At the initial stage, design begins with studying the target audience, analyzing competitors and determining the main goal of the site. Based on the information collected, a visual style concept is created, which includes a color palette, typography, icons and other graphic elements that reflect the brand or idea of the project.

¹ Tidwell, J., Brewer, C., & Valencia, A. (2020). *Designing interfaces: Patterns for effective interaction design* (3rd ed., pp. 1–600). O'Reilly Media; Osborn, T. (2021). *Hello web design: Design fundamentals and shortcuts for non-designers* (140 p.). No Starch Press.

Next, page frames are created that show the location of the main blocks of the site without detailing the appearance. This allows you to coordinate the navigation logic, information structure, and the relationship between interface elements. After approving the structure, you move on to developing mockups – highly detailed visualizations of pages that demonstrate the final appearance of the site. At this stage, it is important to ensure the convenience of user interaction with the site (UI/UX design), provide for accessibility on different devices (responsive design), and avoid overloading with unnecessary elements.

Particular attention is paid to visual hierarchy – the elements that should attract the user’s attention first (for example, call-to-action buttons, headings, menus).

Consistency of styles for all pages is also important in design to maintain integrity and recognition. After approval, the design layouts are transferred to a layout designer or front-end developer for technical implementation, during which it is important to maintain pixel accuracy, take into account cross-browser compatibility and ensure compliance with the original idea. As a result, high-quality site design not only creates a pleasant impression, but also directly affects user behavior, contributes to the achievement of business goals and increases trust in the resource.

Website design² development includes a number of sequential stages, each of which is critical to creating a convenient, aesthetically appealing and functional web resource. After determining the purpose of the site and the needs of the target audience, the customer’s requirements and wishes are collected, as well as market research and competitor analysis. This stage allows you to identify effective approaches, avoid common mistakes and lay the foundation for a unique and competitive design. Next, a general concept is formed: the designer chooses a design style – it can be minimalist, corporate, futuristic or focused on emotional perception, depending on the topic of the resource.

One of the basic tools is a moodboard – a set of references that reflect the desired visual direction: color schemes, typography, examples of interfaces. After that, wireframes (page frames) are created – simplified graphic diagrams that determine the location of blocks: headers, menus, content sections, feedback forms, footers, etc. This is important to ensure navigation logic and ease of use.

2 Romaniuk, O. N., Katelnikov, D. I., & Kosevets, O. P. (2008). Web Design and Computer Graphics: A Textbook (142 pages). Vinnytsia: VNTU.

It is important that the structure does not overload the user and allows you to quickly find the necessary information. After the diagrams are approved, they proceed to the stage of visual design – creating design layouts in specialized programs (Figma, Adobe XD, Sketch).

At this stage, the principles of contrast, rhythm, balance, and consistency are applied. Contrast helps to highlight the main points, such as call-to-action buttons, while rhythm and grid provide visual harmony and even placement of elements. The color palette is chosen taking into account the psychology of color: blue is associated with trust, green with calm or environmental friendliness, red with energy or danger. Typography is selected with readability and the overall style of the site in mind. It is important to use no more than two or three fonts to ensure the integrity of the style.

At the same time, the adaptability of the design is taken into account – the ability to display correctly on different devices: desktops, tablets, smartphones. Adaptive layout involves flexible layout of blocks, changing fonts, images and indents depending on the screen size. After completing graphic development, the layouts are tested in Figma or other services: the logic of transitions, the convenience of clicking on elements, and the consistency of colors are checked. Usability tests are often conducted with the participation of real users, which allows you to identify problem areas in interaction with the site even before the stage of software implementation.

At the final stage, the design is handed over to developers with an explanation of all parameters: colors, fonts, sizes, line spacing, as well as interactive states of elements. As a result, a well-designed site design not only attracts the user, but also affects conversions, the duration of stay on the page and the formation of trust in the brand. Modern web design strives not just for a visual impression, but also for creating a comfortable, fast and effective user experience.

After the approved design is transferred to the layout stage, it is important to maintain the correspondence between the visual elements and their technical implementation. The web developer responsible for the front end must take into account the nuances of the adaptive grid, the behavior of blocks when changing the size of the browser window, and support for different browsers and platforms. During this period, animations are also implemented – smooth transitions, hover effects, reactions to button presses, which not only improve the impression of the site, but also serve as feedback to the user, suggesting that

the element is active. Accessibility requires special attention, which provides the possibility of comfortable use of the site by people with visual, hearing, or motor impairments. This means the use of contrasting colors, descriptive captions for images, support for navigation using the keyboard and on-screen narrators.

After the layout comes the stage of integration with the backend – connecting dynamic data, forms, personal accounts, interactive services. In terms of design, this means testing in a real environment, where it is important to make sure that all graphic elements retain their structure and do not cause display errors. In practice, this often requires optimizing images for fast loading, implementing SVG elements instead of raster ones to maintain clarity, connecting external fonts, taking into account their weight and impact on site performance.

The final stage is testing the entire site for compliance with the design layout, technical requirements, and user expectations. This includes checking usability, behavior on mobile devices, assessing load times, and the correct operation of interactive components. If discrepancies are identified, the design and development team collaborates to eliminate errors and clarify specifications. After the site is launched, analytics are conducted on user interaction with the interface. This allows you to identify weak points in the design that need improvement, and periodically update or rework individual components.

In the process of maintaining and further developing the site, the design also does not remain constant. After the project is launched, the phase of observing user behavior, analyzing interface efficiency metrics, the number of transitions, clicks, page scrolling, and viewing depth begins. This data helps to understand which elements work well and which ones need improvement. If call-to-action buttons are ignored or users leave the page without interacting, this may indicate imperfect compositional construction or low visibility of elements. Then A/B testing techniques are used – several interface variants are developed, and which one shows the best results in terms of behavioral indicators is monitored.

In addition, the design of the site needs to be periodically updated in accordance with new standards and trends. An outdated visual style, incompatibility with modern devices or outdated navigation logic can negatively affect the company's image or reduce the level of trust in the online service. In this regard, there is a need for redesign – a partial or complete restructuring of the structure and appearance of the site. Redesign is based on an assessment of the relevance of the functionality, changes in brand positioning, increased

user expectations or updating the corporate identity. This is not only a graphic modernization, but also an opportunity to review the user's interaction with the site, simplify navigation, reduce the number of clicks to the target action or adapt the interface to new types of content.

A separate direction in the development of web design is interface personalization. This allows not only to improve the experience, but also to increase conversion, since the user receives relevant content without unnecessary actions. At the same time, personalization requires taking into account ethical aspects and privacy policies, which are also reflected in the design – for example, in the form of clear messages about cookies or consent to data processing.

Modern trends in web design are focused on minimalism, micro-animation, dark mode, voice navigation, interactive typography and immersive elements that attract the user to interaction. At the same time, the high pace of development of technologies, mobile platforms and accessibility requirements forces designers to constantly learn, master new tools, and adapt to changes in audience behavior. That is why website design today is not only an artistic project, but also an analytical, technical and social discipline that requires an interdisciplinary approach and strategic thinking.

In the context of a strategic approach, web design becomes part of the overall communication policy of a brand or organization, because every visual element, every decision on the placement of information affects the user's perception. It is important that the design not only reflects the visual preferences of the target audience, but also conveys the values, style, tone and character of the brand. For example, a university website should radiate authority, structure and accessibility, while a creative studio website should demonstrate innovation, freedom of form and originality. The design should meet the emotional expectations of the user, be intuitive and at the same time aesthetically expressive. This is achieved through a balance between content, form and function, where each block or element carries a semantic load and at the same time fits into the overall visual harmony.

Another important aspect is maintaining design consistency. Regardless of the number of pages or the complexity of the site, the user should feel a unity of style, predictability of the placement of functional elements, and the same behavior of the interface in similar situations. This is achieved by using

a system of design components, which includes standardized buttons, input fields, navigation blocks, colors, and typographic hierarchy. Such systems not only simplify the work of the team, but also provide convenience for users who quickly adapt to a familiar interaction pattern.

Thanks to the development of prototyping and collaboration tools, modern web design has become a more interactive and team-oriented process. Designers can now collaborate with developers, marketers, and copywriters, creating a full-fledged product development ecosystem. This allows you to avoid communication errors, quickly make changes, adapt the design to new requirements, and test hypotheses before the start of software implementation. Moreover, the integration of design with project management systems allows you to monitor progress, record tasks, and transparently manage the process from idea to launch.

In addition to strategic, aesthetic, and technical components, it is important to consider website design as a dynamic environment that is constantly evolving and adapting to new technologies, changes in user behavior, and transformations in the digital environment in general. The emergence of new device formats – from flexible screens to voice interfaces and wearable technologies – requires designers to think bigger, go beyond the traditional two-dimensional page layout, and design interfaces that take into account the context of use, spatial navigation, multi-channel interaction, and emotional engagement. There is an increasing need to develop designs that respond to external conditions: geolocation, time of day, user biometrics, or even their emotional state.

In parallel, the ethics of digital design are developing. Websites are no longer just tools for delivering information – they form habits, influence thinking, stimulate or inhibit behavioral responses. That is why design should create not only a convenient environment, but also a safe and responsible one. It is unacceptable to use manipulative patterns (for example, hidden unsubscribe buttons, aggressive pop-ups, an artificially created sense of urgency), even if this temporarily increases conversion. In the long run, user trust is much more valuable than immediate benefit. Therefore, interface design should take into account transparency, control over personal data, voluntariness of actions, and respect for the user's time and attention.

In the development of website design, there are clear evaluation criteria that allow you to objectively determine its quality, effectiveness and compliance

with the tasks set. One of the key criteria is usability – the convenience of using the site, which includes the navigation logic, the clarity of the interface, the ease of performing basic actions (for example, searching for information, placing an order or filling out a form). An important parameter here is intuitiveness: the user should be able to navigate without the need for additional instructions. The next criterion is visual appeal, i.e. the overall aesthetics of the design, the consistency of style, typography, colors, proportions, graphic elements. High-quality design should make a pleasant impression and not overload perception.

In addition, an important criterion is the functionality and purpose of the design, that is, its ability to effectively fulfill its role – to inform, persuade, sell or engage. This is checked by analyzing behavioral metrics: whether users easily find the information they need, whether they complete the actions that the site prompts. Accessibility is also taken into account – how well the site is usable by people with disabilities, whether there is sufficient color contrast, whether there are alternative texts for images, whether keyboard navigation is supported.

Additional criteria may include design uniqueness, lack of patterning, brand compliance, interface consistency (unity of style and logic on all pages), and compliance with the technical task or customer requirements. Taking into account all these aspects, an overall assessment of the quality of the site design is formed, which helps to identify strengths and areas for improvement, especially when conducting redesigns or interface audits.

Animation plays an important role in web design, as it not only adds visual appeal, but also significantly improves the user's interaction with the site. Its main purpose is to provide a smooth and understandable transition between interface states, emphasize key elements, and create a sense of dynamism and «liveliness» of the web resource. Animation helps to direct attention: for example, when the user hovers over a button and it changes color or increases slightly, this signals that the element is interactive. Thus, animation performs a feedback function – it indicates the result of the action and confirms that the system is responding to the user.

It is also used to improve navigation – smooth scrolling, sliding menus, soft appearance of modal windows or messages make moving around the page more logical and comfortable. In more complex interfaces, where there is a lot of information or several levels of nesting, animation makes it easier to understand the hierarchy and relationships. For example, when a list or tab is expanded, the

user sees where it appeared and where it disappears, which creates cognitive coherence in the visual environment.

In addition to its functional purpose, animation has an emotional charge. It can create a certain mood, strengthen a brand, or add uniqueness to an interface. For example, the smooth appearance of a logo when loading a page or animated illustrations create a positive impression and establish the individuality of the project. At the same time, it is important not to abuse animations, because excessive or too slow use of effects can lead to irritability, attention overload, and even slowing down the site. Modern web design uses micro-animations – small, imperceptible movements that are not distracting, but increase usability: for example, loading indicators, smooth confirmation of actions, shifts when filtering content.

Animation³ is also part of accessibility, when, for example, prompts or errors appear not instantly, but gradually, which allows people with special perception to better capture changes. It helps to adapt the interface to the user's expectations, to make interaction with the site logical, predictable and pleasant. In short, the role of animation in site design is a combination of functionality, aesthetics and psychological support for the user, which brings the interaction experience to a qualitatively new level.

Animation requirements in web design, in particular frame rate (FPS – frames per second), are key to ensuring a smooth interface, comfortable user experience and high performance. The generally accepted standard for web animation is a frequency of 60 frames per second (60 FPS). This frequency provides a natural and smooth display of movements, which corresponds to the refresh rate of most screens and is perceived by humans as continuous, “live” movement. If the frequency drops below 30 FPS, users begin to notice jerks, delays, which negatively affects the perception of the interface, reduces trust in the resource and can cause irritation.

FPS requirements depend on the context of the application. For standard micro-animations (hover, tooltips, tab switching), it is optimal to achieve a stable 60 FPS even on mobile devices with limited resources. For more complex interactive effects (e.g. parallax scrolling, 3D animations, WebGL elements), it is desirable to provide at least 45–60 FPS, otherwise delays occur that harm perception. Special attention should be paid to performance on devices with

³ Osgood, A. (2024). *Motion illustration: How to use animation techniques to make illustrations move* (320 p.).

lower graphics capabilities – budget smartphones, tablets, old laptops, where poorly optimized animations can reduce FPS to unacceptable levels.

To achieve the necessary smoothness of animation, it is important to adhere to technical requirements: avoid unnecessary reflows (layout recalculations), limit the use of resource-intensive CSS properties (such as box-shadow, filter, border-radius in large quantities), and give preference to animation of transform and opacity properties, which are optimized for the GPU. In particular, animating positions, sizes, colors in CSS (left, top, height, background-color) often causes excessive CPU load, while translate3d, scale or opacity allow you to achieve the effect without reducing FPS.

Animations should also take into account the user's personal preferences, in particular the «reduced animation» mode (prefers-reduced-motion), which is supported in modern browsers. If the user has enabled such an option, the system should automatically simplify or disable animation effects to avoid irritation or dizziness.

In conclusion, the requirements for animation in web design include achieving a stable 60 FPS, minimizing the use of heavy CSS properties, ensuring adaptability to device resources, adhering to accessibility standards, and careful testing across browsers and platforms. Optimized animation is not only about beauty, but also about respecting time, technical capabilities, and the user's physiology.

Color in web design is a system of selecting, combining and using colors to create visual harmony, emotional impact and effective communication with the user. Its significance goes far beyond aesthetics, as color is one of the first elements that affects the user's impression of the site. A correctly selected color palette forms brand recognition, creates the appropriate mood and facilitates the perception of information. Colors have a psychological nature: for example, blue is associated with calm and trust, green with harmony and security, red with energy, danger or a call to action, yellow with happiness or attention.

A key aspect of color is the functionality of color. Web design requires not only beautiful combinations, but also those that support usability. The contrast between the background and text should ensure high readability. Too light shades or small differences in brightness can make perception difficult. In addition, colors are used to build a visual hierarchy – accent shades draw attention to important elements: buttons, links, headings, notifications. Using

secondary and neutral colors for the background, navigation or auxiliary blocks allows you to avoid visual overload.

Color harmony is important—the ability to combine colors in a way that creates a sense of coherence. To do this, designers use color schemes: monochrome, analogous, complementary, or triadic. Itten’s color wheel helps to find successful combinations that maintain a balance between contrast and unity. For example, combining blue with orange creates a dynamic contrast, while green with cyan creates a soft analogous combination.

Color is also closely related to brand identity. Many companies have corporate colors that are embedded in their visual style, and the site must accurately reproduce these colors to maintain recognition. For example, Facebook blue, Coca-Cola red, or Spotify green evoke instant associations. Within a single site, it is important to maintain consistency: the same use of color for certain types of elements creates visual stability.

A separate place is occupied by the adaptation of color to the conditions of perception: taking into account the dark theme of the interface, screen lighting, color blindness (color blindness). For this, there are accessibility tests that allow you to check the sufficiency of contrast or test the palette from the point of view of various visual impairments. Color is becoming not just a means of decoration, but an important tool of inclusive design.

Composition is closely related to the rule of the golden ratio, the rule of thirds, the principles of balance, contrast, rhythm, and dominant. For example, a balanced composition has a symmetrical or asymmetrical ratio of parts, where heavy elements are compensated by free space. The dominant is the most noticeable visual component that sets the center of attention and subordinates all other elements to itself. Free space (white space) in a composition is also extremely important – it creates «breathing» around blocks, reduces visual overload, enhances the meaning of individual elements, and increases readability.

Good composition also takes into account behavioral patterns, such as the natural direction of page scanning. Research shows that most users read a visual interface in an F or Z pattern, so important elements are placed at the beginning and end of these trajectories. In addition, composition supports adaptability, that is, the ability to maintain logic and consistency when the window size or device orientation changes.

Therefore, the role of composition is not only to aesthetically organize content, but above all to ensure effective user interaction with the site, improve navigation, convey meaning through form and spatial logic. It is it that transforms a set of elements into a clear, functional and attractive interface that meets expectations, simplifies the use of the resource and enhances the overall effectiveness of the digital product.

Yes, in web design there are basic requirements that ensure the efficiency, usability and aesthetic quality of the interface. These requirements cover both visual and functional aspects of design and are critical for a positive user experience. First of all, it is usability, that is, the convenience of using the site: the interface should be intuitive, with predictable navigation, a logical structure and clear controls.

Basic requirements also include contrast and readability – the text should be easy to read, fonts of sufficient size, and the contrast between the text and the background should be sufficient for comfortable perception, taking into account accessibility requirements. The color scheme should be consistent, harmonious, support the brand identity and not distract the user. Composition – elements should be placed logically, maintaining visual balance, with enough free space to avoid overload.

It is also important to maintain style consistency – all buttons, fonts, headings, and input fields look the same on all pages, which increases predictability and reduces cognitive load. An equally important requirement is accessibility: the site must be user-friendly for people with visual or motor impairments, support keyboard navigation, have text alternatives for images, and meet accessibility standards.

Basic technical requirements include: correct HTML/CSS code, compliance with W3C standards, cross-browser compatibility (correct display in all major browsers), optimization of graphics and resources to reduce network load. All these requirements are the basis for creating high-quality web design that not only attracts the user, but also promotes effective interaction, achieving site goals, and creating a positive digital experience.

Composition in web design plays a fundamental role , as it determines the spatial organization of all interface elements, ensures the logic of their placement, visual balance and ease of perception of information. It is the basis on which the user's interaction with the site is built, forming a clear structure,

sequence of actions and visual hierarchy. Thanks to competent composition, the user effortlessly navigates the interface, quickly finds the necessary blocks, distinguishes between the main and auxiliary, and navigation becomes predictable and intuitive. Composition allows the designer to control the user's attention, focusing it on important elements – call-to-action buttons, headings, forms, offers or products.

One of the basic principles of composition is visual hierarchy, which is the ordering of elements by degree of importance. It is created through size, color, contrast, position, indentation, and typography. For example, large and bold headlines attract attention first, subheadings are read second, and regular text is read last. This allows you to form a logical sequence of viewing content. Another important principle is the grid structure. It provides alignment and symmetry, allows you to coordinate the placement of blocks vertically and horizontally, while maintaining rhythm and visual harmony. The grid also facilitates responsive layout and scaling of the interface for different screens.

Basic color requirements in web design define the rules for using a color palette to ensure readability, aesthetic harmony, functional clarity, and accessibility of the interface. The main requirement is sufficient contrast between the background and text, especially for main content, headings, and buttons. According to accessibility standards (WCAG 2.1), the minimum recommended contrast for regular text is 4.5:1, and for large headings – 3:1. This ensures that even visually impaired users can comfortably perceive information.

The second important principle is color consistency and harmony. All colors in the interface should be combined with each other, not cause visual dissonance and not overload the perception. 3-5 main shades are often used: the main brand color, accent colors for buttons and calls to action, neutral colors for the background and text, and additional ones for messages, errors or tips. It is important to avoid using too bright or saturated colors in large quantities so as not to overstrain the user's eyes.

Colors should be functionally meaningful. For example, red often signals an error or danger, green – success or confirmation, yellow – a warning. At the same time, information should not depend exclusively on color – text tips or icons should be provided next to colored markers, especially for users with color vision impairment.

Another requirement is consistency in the use of colors. The same role should be assigned to a particular color on all pages: if a blue button means “confirm,” it should be consistent throughout the site. Such consistency promotes predictability and reduces cognitive load.

Modern web design also takes into account the dark theme of the interface (dark mode). To do this, the color scheme should have an alternative that maintains sufficient contrast and stylistic consistency. In addition, colors should be accessible to people with color blindness, so it is worth avoiding combinations of red and green without additional markers.

The basic requirements for composition in web design are aimed at ensuring visual order, logic, ease of perception and effective user interaction with the interface. First of all, the composition should be structured, that is, all information on the page should be arranged according to the principle of visual hierarchy – from the most important to the secondary. For this, element sizes, font boldness, colors, indentations and spatial arrangement are used. Headings should be clearly distinguished, content blocks should be logically divided, and functional elements (menus, buttons, forms) should be noticeable and easily accessible.

The second key requirement is to use a grid system. The grid provides visual balance, symmetry, alignment of elements, and consistent proportions across devices. It makes the design look organized and consistent, which greatly facilitates responsive layout. It is also important to maintain rhythm and repeatability, i.e., consistent spacing between blocks, and repetition of stylistic decisions (e.g., product cards with the same structure), which creates a sense of harmony and predictability.

An equally important requirement is the use of a visual center and dominant – the user should understand at first glance what to pay attention to. This can be a headline, a key image or an action button. The composition should subordinate other elements to this dominant, not distract with unnecessary details, but on the contrary – reinforce the main message.

Composition also requires a balance between filled space and empty space (white space). Having enough white space around elements helps avoid clutter, increases readability, and allows the user to focus better. It also creates the impression of a modern, clean, and light interface.

In addition, a basic requirement is a logical sequence of elements, according to the usual reading scenarios: in Western culture, this is mostly a left-to-

right and top-to-bottom trajectory. That is why navigation, logo and main information are placed at the top, and supporting elements are placed below or at the bottom of the page.

In conclusion, the basic requirements for composition include: clear visual hierarchy, use of a grid, balance and rhythm, emphasis on the main thing, sufficient free space, predictable sequence of placement and consistency of all elements. Adhering to these principles allows you to create an interface that is simultaneously attractive, user-friendly and effective in achieving the set goal.

The basic color requirements for web design define the rules for using a color palette to ensure readability, aesthetic harmony, functional clarity, and accessibility of the interface. The main requirement is sufficient contrast between the background and text, especially for main content, headings, and buttons. The minimum recommended contrast for regular text is 4.5:1, and for large headings – 3:1. This ensures that even visually impaired users can comfortably perceive information.

The second important principle is color consistency and harmony. All colors in the interface should be combined with each other, not cause visual dissonance and not overload the perception. 3-5 main shades are often used: the main brand color, accent colors for buttons and calls to action, neutral colors for the background and text, and additional ones for messages, errors or tips. It is important to avoid using too bright or saturated colors in large quantities so as not to overstrain the user's eyes.

Colors should be functionally meaningful. For example, red often signals an error or danger, green – success or confirmation, yellow – a warning. At the same time, information should not depend exclusively on color – text tips or icons should be provided next to colored markers, especially for users with color vision impairment.

Another requirement is consistency in the use of colors. The same role should be assigned to a particular color on all pages: if a blue button means “confirm,” it should be consistent throughout the site. Such consistency promotes predictability and reduces cognitive load.

Modern web design also takes into account the dark theme of the interface. To do this, the color scheme should have an alternative that maintains sufficient contrast and stylistic consistency. In addition, colors should be accessible to

people with color blindness, so it is worth avoiding combinations of red and green without additional markers.

Thus, the basic requirements for colors in web design include ensuring sufficient contrast, harmonious combination, functional meaning of colors, support for accessibility, stability in use and adaptation to different viewing conditions. These requirements ensure not only the aesthetic quality of the interface, but also efficiency, convenience and emotional comfort of perception.

The basic requirements for composition in web design are aimed at ensuring visual order, logic, ease of perception and effective user interaction with the interface. First of all, the composition should be structured, that is, all information on the page should be arranged according to the principle of visual hierarchy – from the most important to the secondary. For this, element sizes, font boldness, colors, indentations and spatial arrangement are used. Headings should be clearly distinguished, content blocks should be logically divided, and functional elements (menus, buttons, forms) should be noticeable and easily accessible.

The second key requirement is to use a grid structure. A grid provides visual balance, symmetry, alignment of elements, and consistent proportions across devices. It makes the design look organized and consistent, which greatly facilitates responsive layout. It is also important to maintain rhythm and repeatability, i.e., consistent spacing between blocks, and repetition of stylistic decisions (e.g., product cards with the same structure), which creates a sense of harmony and predictability.

An equally important requirement is the use of a visual center and dominant – the user should understand at first glance what to pay attention to. This can be a headline, a key image or an action button. The composition should subordinate other elements to this dominant, not distract with unnecessary details, but on the contrary – reinforce the main message.

Composition also requires a balance between filled space and empty space. Having enough free space around elements helps avoid clutter, increases readability, and allows the user to focus better. It also creates the impression of a modern, clean, and light interface.

In addition, a basic requirement is a logical sequence of elements, according to the usual reading scenarios: in Western culture, this is mostly a left-to-

right and top-to-bottom trajectory. That is why navigation, logo and main information are placed at the top, and supporting elements are placed below or at the bottom of the page.

In conclusion, the basic requirements for composition include: clear visual hierarchy, use of a grid, balance and rhythm, emphasis on the main thing, sufficient free space, predictable sequence of placement and consistency of all elements. Adhering to these principles allows you to create an interface that is simultaneously attractive, user-friendly and effective in achieving the set goal.

The development prospects of web design are determined by dynamic changes in technologies, user behavior and digital culture in general. In the coming years, web design will increasingly transform from a visual interface design into a systemic, integrated discipline that combines design thinking, analytics, inclusivity and automation. One of the main areas of development is deep personalization of interfaces – sites gradually adapt to the individual needs, preferences and context of the user in real time, taking into account his behavior, interaction history, location or time of day. This becomes possible thanks to integration with artificial intelligence, machine learning and recommendation systems.

Another important trend is the development of voice and multimodal interfaces, where interaction with a site occurs not only through a mouse or keyboard, but also with voice, gestures, or even gaze. This requires a rethinking of design: new scenarios, simplified interfaces, an emphasis on inclusivity and accessibility. At the same time, adaptability is reaching a new level: design must take into account not only the size of the screen, but also the type of device, network bandwidth, graphics power, lighting conditions and other variables. This creates a need for context-sensitive design that is flexible and changes dynamically.

One of the promising directions is the development of no-code/low-code design – thanks to platforms like Webflow, Framer or Wix Studio, more and more designers can implement full-fledged projects without the participation of developers, which changes the role and format of the designer's work. This allows you to speed up development, test hypotheses, scale projects and reduce barriers to launching new products. In this context, the importance of design systems is growing – centralized libraries of components, styles and rules that ensure consistency, speed and scalability of design.

Web design is also increasingly focused on micro-interactions, animations, and 3D elements, thanks in part to WebGL, Three.js, and CSS animations. But these effects are no longer decorative – they have a functional purpose: they explain, confirm, simplify the interface, and add emotional connection to the user. At the same time, there is a growing demand for green, energy-efficient sites that are optimized for speed, file size, query volume, and carbon footprint minimization, in line with the overall environmental responsibility of digital products.

In the near future, the importance of ethical design will increase: transparent interfaces, the absence of manipulative patterns (dark patterns), support for digital rights, control over privacy and transparent explanation of system decisions to the user. The role of inclusive design is also increasing – the creation of sites that are convenient for people with disabilities, which will meet not only technical standards, but also the principles of equality in the digital space.

Therefore, the prospects for the development of web design lie in the direction of intellectualization, humanization, automation and personalization of interfaces. A successful designer of the future is not just a layout maker, but a systems thinker, strategist and researcher of user scenarios, who combines creativity with data, intuition with technology, and creates an environment in which a person feels understandable, protected and free.

The development prospects of web design are determined by dynamic changes in technology, user behavior and digital culture in general. In the coming years, web design will increasingly transform from a visual interface design into a systemic, integrated discipline that combines design thinking, analytics, inclusivity and automation. One of the main areas of development is deep personalization of interfaces – sites gradually adapt to the individual needs, preferences and context of the user in real time, taking into account his behavior, interaction history, location or time of day.

On a more practical level, mobile-first is becoming increasingly important. According to statistics, most users interact with websites via smartphones, so design should focus primarily on small screens, touch control, gestures, loading speed and ease of navigation. In this context, progressive web applications (PWAs), which look and work like native mobile applications but operate through a browser, are becoming increasingly popular. The web design of the future

will include elements of animation, push notifications, offline caching and adaptation to different OSes – all within the framework of a single web resource.

Special attention is being paid to interfaces designed for short interactions – “fast sites” with minimalist design, large fonts, bright CTAs and a simplified path to the goal. In the future, this will become the new norm for information pages, fast-action services (order, payment, status check), where every second counts. The compositions of such sites are reduced to one or two elements on the screen, large visual areas and a clear emphasis on the main action.

Another specific direction is 3D visualization based on WebGL, Three.js, Spline. Sites with interactive 3D scenes, animated objects, or visualization of complex data are gaining popularity in the fields of architecture, education, and product presentation. Web designers will have to work with scenes, lighting, animations, and the camera – that is, go beyond two-dimensional thinking. There is also a growing demand for the integration of AR (augmented reality) elements – it can be viewing a product in your room, a virtual tour, or visualization of instructions.

Interfaces are also evolving towards emotional design: this means creating not just a convenient and beautiful site, but one that evokes an emotional response – trust, joy, inspiration. This is achieved through micro-animations, interface language, illustrations, humor, personalized appeals. Gamification is becoming especially popular: adding game mechanics – counters, levels, awards, progress bars – to non-entertainment services, such as education, training, and medical applications.

When specifying the prospects for the development of web design, it is worth paying attention, first of all, to the active implementation of artificial intelligence in the processes of creating interfaces. Already today, a designer can automatically generate layout options, select color schemes, adapt the design to different platforms, or improve the text part of the interface. In the coming years, these systems will become an integral part of daily work: the designer will be able to focus not so much on drawing individual blocks as on a conceptual solution, while the routine will be automated. AI will also help in analytics – based on user behavior, the system will be able to point out weak points in the composition or color accents.

Another specific trend is the spread of neural network personalization of interfaces: websites will dynamically change content and structure depending

on the person logging in. This creates a demand for design that is not rigidly fixed, but is able to “rebuild” in real time.

On a more practical level, mobile-first design is gaining importance. According to statistics, most users interact with websites via smartphones, so the design should focus primarily on small screens, touch control, gestures, loading speed and ease of navigation. In this context, progressive web applications, which look and work like native mobile applications but operate through a browser, are becoming increasingly popular. The web design of the future will include elements of animation, push notifications, offline caching and adaptation to different OSes – all within the framework of a single web resource.

Special attention is being paid to interfaces designed for short interactions – “fast sites” with minimalist design, large fonts, bright CTAs and a simplified path to the goal. In the future, this will become the new norm for information pages, fast-action services (order, payment, status check), where every second counts. The compositions of such sites are reduced to one or two elements on the screen, large visual areas and a clear emphasis on the main action.

Another specific direction is 3D visualization based on WebGL, Three.js, Spline. Sites with interactive 3D scenes, animated objects, or visualization of complex data are gaining popularity in the fields of architecture, education, and product presentation. Web designers will have to work with scenes, lighting, animations, and cameras – that is, go beyond two-dimensional thinking. There is also a growing demand for the integration of AR (augmented reality) elements – it can be viewing a product in your room, a virtual tour, or visualization of instructions.

Interfaces are also evolving towards emotional design: this means creating not just a convenient and beautiful site, but one that evokes an emotional response – trust, joy, inspiration. This is achieved through micro-animations, interface language, illustrations, humor, personalized appeals. Gamification is becoming especially popular: adding game mechanics – counters, levels, awards, progress bars – to non-entertainment services, such as education, training, and medical applications.

All these directions form a new paradigm of web design, in which the designer must think not as a “page designer”, but as an architect of interaction in a multi-layered environment – taking into account context, behavior, technologies, device limitations and future changes. This requires knowledge of UI/UX psychology, adaptive systems, 3D thinking, accessibility, principles

of intelligent minimalism and skills of collaboration with AI. Therefore, web design of the future is a deeply interdisciplinary field, constantly transforming and blurring the boundaries between art, engineering, research and emotional communication.

Three-dimensional visualization (3D) in web design serves as a tool for in-depth visual communication, which allows you to create more realistic, interactive and emotionally rich user environments. Thanks to the development of technologies such as WebGL, Three.js, Babylon.js and interactive platforms such as Spline, designers have been able to integrate 3D objects, scenes and animations directly into the browser without the need to install third-party plugins. This opens up new possibilities for presenting complex concepts, visual engagement, and simulating real space in a digital environment.

One of the main roles of 3D in web design is to create a deeper visual experience. Three-dimensional objects, animated scenes, interfaces with perspective and realistic lighting create an immersive effect that far exceeds the perception of flat (2D) design. This is especially true for areas where the presentation of spatial characteristics is important: architecture, interior design, mechanical engineering, medicine, virtual tours. For example, the user can rotate a house model, change the colors of the facade or view the furnishings of the rooms – all in the browser, without the need for separate applications.

The second important feature is interactivity: three-dimensional elements can respond to user actions – rotation, scaling, hovering, clicking. This makes it possible to implement new-generation interfaces – visualization of complex processes, dynamic product configuration, visual learning, or game mechanics. For example, on the website of a car brand, the user can change the body color, open the doors, view the interior from all sides – and all this happens in the browser in real time. This level of engagement increases trust, interest, and depth of interaction with the product.

In addition, 3D plays an emotional and aesthetic role: non-standard spatial compositions, visual effects, depth of field, physically correct lighting and shadows create an atmosphere of high quality and modernity. This has a positive effect on the brand image, especially in the areas of innovation, technology, art, fashion. Web design with 3D elements can even play the role of a digital installation – the impression of the site becomes similar to a visit to a gallery or a virtual exhibition.

However, implementing 3D rendering also requires performance optimization. Heavy scenes or unlimited polygon usage can reduce FPS, especially on mobile devices. Therefore, designers must consider the balance between detail and speed, use texture optimizations, Level of Detail (LOD), GPU acceleration, and consider fallback versions for weaker devices.

In addition to the presentation function, 3D also has practical significance – for example, in visual product configuration systems (clothing, furniture, gadgets), in digital learning platforms (interactive anatomy, technical simulators), in e-commerce (virtual fitting rooms, product reviews), or even in cartography and navigation (3D maps, volumetric routes).

Three-dimensional visualization (3D) in web design serves as a tool for in-depth visual communication, which allows you to create more realistic, interactive and emotionally rich user environments. Thanks to the development of technologies such as WebGL, Three.js, Babylon.js and interactive platforms such as Spline, designers have been able to integrate 3D objects, scenes and animations directly into the browser without the need to install third-party plugins. This opens up new possibilities for presenting complex concepts, visual engagement, and simulating real space in a digital environment.

One of the main roles of 3D in web design is to create a deeper visual experience. Three-dimensional objects, animated scenes, interfaces with perspective and realistic lighting create an immersive effect that significantly exceeds the perception of flat (2D) design. This is especially true for areas where the presentation of spatial characteristics is important: architecture, interior design, mechanical engineering, medicine, virtual tours.

The second important feature is interactivity: three-dimensional elements can respond to user actions – rotation, scaling, hovering, clicking. This makes it possible to implement new-generation interfaces – visualization of complex processes, dynamic product configuration, visual learning, or game mechanics. For example, on the website of a car brand, the user can change the body color, open the doors, view the interior from all sides – and all this happens in the browser in real time. This level of engagement increases trust, interest, and depth of interaction with the product.

In addition, 3D plays an emotional and aesthetic role: non-standard spatial compositions, visual effects, depth of field, physically correct lighting and shadows create an atmosphere of high quality and modernity. This has a positive

effect on the brand image, especially in the areas of innovation, technology, art, fashion. Web design with 3D elements can even play the role of a digital installation – the impression of the site becomes similar to a visit to a gallery or a virtual exhibition.

However, implementing 3D rendering also requires performance optimization. Heavy scenes or unlimited polygon usage can reduce FPS, especially on mobile devices. Therefore, designers must consider the balance between detail and speed, use texture optimizations, Level of Detail (LOD), GPU acceleration, and consider fallback versions for weaker devices.

In addition to the presentation function, 3D also has practical significance – for example, in visual product configuration systems (clothing, furniture, gadgets), in digital learning platforms (interactive anatomy, technical simulators), in e-commerce (virtual fitting rooms, product reviews), or even in cartography and navigation (3D maps, volumetric routes).

In short, the role of 3D visualization in web design is to combine aesthetics, functionality, and engagement, allowing for deeper, more realistic, and emotionally rich digital environments. It expands the boundaries of user interaction with the interface and transforms a site from a simple information structure into an interactive space where every click, rotation, or targeting becomes part of the experience.

Three-dimensional graphics in web design require compliance with a whole set of requirements that ensure their effective use in interfaces without compromising speed, convenience, and accessibility. First of all, the main requirement is performance – 3D graphics should work smoothly and stably in the browser, without noticeable delays or jerks. Optimally, a frequency of 60 frames per second (FPS) should be achieved, which ensures a natural perception of movement and the interface, and in the worst case, not to fall below 30 FPS. To do this, optimized models with a minimum number of polygons, compressed textures, the GLB/gLTF format, as well as baked lighting techniques and Level of Detail (Level of Detail) that reduce the load on the graphics processor are used.

Another critical requirement is support for WebGL or WebGPU technologies, which are the basis for rendering 3D scenes in a browser without additional plugins. All modern 3D solutions must be compatible with these APIs, as well as have fallback versions for browsers that do not support new technologies. An

important factor is cross-platform – scenes must work correctly on desktops, smartphones and tablets, taking into account the resolution, screen size, touch control, and limited performance of mobile devices.

Three-dimensional graphics should not be just a decorative element, but an interactive part of the interface – the user should be able to rotate objects, change parameters, interact with space without difficulty. To do this, it is important to provide convenient control logic: gestures for mobile, mouse or keys for desktops, as well as clear visual feedback on actions. No less important is the issue of loading speed – the 3D scene should not slow down the opening of the page. For this, lazy loading, pre-caching, compression of models and textures are used.

As for the visual design, the requirement is not only quality, but also stylistic consistency with the rest of the site design. Colors, materials, lighting, shapes – everything should correspond to the general style so that the 3D scene does not look alien. Accessibility must also be taken into account: if the user has vision impairment, cognitive difficulties or a weak device, text alternatives should be provided, simplified versions of graphics, or the ability to disable 3D altogether. Support for system settings for reduced animation (prefers-reduced-motion) is mandatory in a professional solution.

Security is another aspect: all libraries for working with 3D graphics (e.g. Three.js, Babylon.js) must be updated, and the site must work via HTTPS to prevent vulnerabilities. In addition, SEO optimization requires the provision of HTML alternatives to 3D content, since 3D scenes themselves are not indexed by search engines. All this complements the requirement for logical structure: even a complex 3D presentation must be understandable – with a clear composition, main and secondary elements, hierarchy, accents and maintaining space for visual breathing.

Thus, the requirements for three-dimensional graphics in web design include technical efficiency, interactivity, adaptability, accessibility, security, visual coherence, and functional feasibility. Only when these factors are combined does 3D on the web cease to be just an effect and become a full-fledged tool for interaction, communication, and presentation of information in a new, three-dimensional form.

Three-dimensional graphics in web design require compliance with a whole set of requirements that ensure their effective use in interfaces without

compromising speed, convenience and accessibility. First of all, the main requirement is performance – 3D graphics should work smoothly and stably in the browser, without noticeable delays or jerks. Optimally, a frequency of 60 frames per second (FPS) should be achieved, which ensures a natural perception of movement and the interface, and in the worst case – not to fall below 30 FPS. To do this, optimized models with a minimum number of polygons, compressed textures, the GLB/gLTF format, as well as pre-lighting techniques and levels of detail (Level of Detail), which reduce the load on the graphics processor, are used.

Another critical requirement is support for WebGL or WebGPU technologies, which are the basis for rendering 3D scenes in a browser without additional plugins. All modern 3D solutions must be compatible with these APIs, as well as have fallback versions for browsers that do not support new technologies. An important factor is cross-platform – scenes must work correctly on desktops, smartphones and tablets, taking into account the resolution, screen size, touch control, and limited performance of mobile devices.

Three-dimensional graphics should not be just a decorative element, but an interactive part of the interface – the user should be able to rotate objects, change parameters, interact with space without difficulty. To do this, it is important to provide convenient control logic: gestures for mobile, mouse or keys for desktops, as well as clear visual feedback on actions. No less important is the issue of loading speed – the 3D scene should not slow down the opening of the page. For this, deferred loading, pre-caching, compression of models and textures are used.

Thus, the requirements for three-dimensional graphics in web design include technical efficiency, interactivity, adaptability, accessibility, security, visual coherence, and functional feasibility. Only when these factors are combined does 3D on the web cease to be just an effect and become a full-fledged tool for interaction, communication, and presentation of information in a new, three-dimensional form.

Responsiveness is a mandatory and fundamental principle in the development of modern web design. It involves creating an interface that automatically adjusts to different screen sizes, device types, display orientation, and technical characteristics of the user environment. The main goal of responsive design is to provide a comfortable, logical, and equally convenient interaction with the site on smartphones, tablets, laptops, desktops, and even smart TVs.

Responsive web design uses fluid grids, scalable images, relative units of measurement (percentages, em, rem, vw, vh), and media queries that allow you to change styles depending on the width of the screen. For example, the same page may have three columns on a large monitor, but be transformed into one vertical column on a smartphone. Navigation elements (menus, buttons) are often replaced by mobile versions – the so-called hamburger menu or pop-up panels.

Responsiveness also includes choosing typography that remains readable when scaled; controlling padding and proportions that are consistent across all screens; optimizing interactive elements (taps, gestures) to fit the size of a finger on mobile devices. In addition, responsive web design takes into account connection speed by choosing lightweight versions of images or delaying the loading of large content (lazy loading) until needed.

The modern approach increasingly uses Mobile-First design, where the interface is first developed for the smallest screen – a smartphone – and then gradually scaled to larger devices. This ensures optimization of the most important elements and interaction logic in a limited space.

Thus, adaptability in web design is not an optional extra, but a necessary requirement that ensures accessibility, convenience, professional appearance, and versatility of the site in the conditions of multi-platform Internet use. A site without adaptation loses a significant part of its audience and violates modern standards of user experience.

In modern web design, new methods are being actively introduced that change the way we think about interfaces and interaction with digital products. One of the key areas is the use of artificial intelligence, which allows you to automate the processes of creating layouts, generate adaptive color schemes, select fonts, and create interface prototypes based on text descriptions or user scenarios. Platforms such as Figma AI, Uizard, or Adobe Sensei already implement functionality that allows the designer to focus on the concept and logic of interaction, leaving the routine work to systems. In the future, this will lead to the fact that web design will become partially algorithmic – layouts will be generated according to given rules and data in real time.

Another innovative method is generative design, when the interface is created not manually, but using special algorithms that build variations of the layout, elements and styles according to the user's behavior, type of content or device.

This allows you to create unique interfaces that adapt not only to the screen, but also to the context of use. For example, a site can change the location of blocks, the style of images and even the language of text presentation depending on the time of day, geolocation, and previous user interaction history. Such dynamic interfaces are gradually becoming the norm in e-commerce, media platforms and educational resources.

Multimodal interfaces are also actively developing, including voice control, gestures, gaze, or even biometric signals. Sites are gradually integrating with voice assistants, using the Web Speech API for searching, executing commands, and navigating without clicking. This forms a new concept of interaction, when the interface works not only through the mouse and keyboard, but becomes flexible, intuitive, and less noticeable – the so-called zero UI, or “zero interface,” which disappears from view, leaving only functionality.

In parallel, the role of microinteractions is increasing – small but important animations and visual effects that confirm the user’s actions, explain the result or form an emotional response. A new generation of microinteractions includes adaptive scenarios that depend on the user’s reaction time, frequency of action or even emotional context. At the same time, design ethics are becoming increasingly relevant – more and more attention is paid to inclusivity, security, respect for time and user privacy. Designers are abandoning manipulative patterns (dark patterns), instead creating transparent interfaces with clear messages, voluntary choice and convenient refusal of subscriptions, cookies, etc.

In modern web design, new methods are being actively introduced that change the way we think about interfaces and interaction with digital products. One of the key areas is the use of artificial intelligence, which allows you to automate the processes of creating layouts, generate adaptive color schemes, select fonts, and create interface prototypes based on text descriptions or user scenarios. Platforms such as Figma AI, Uizard, or Adobe Sensei already implement functionality that allows the designer to focus on the concept and logic of interaction, leaving the routine work to systems. In the future, this will lead to the fact that web design will become partially algorithmic – layouts will be generated according to given rules and data in real time.

Another innovative method is generative design, when the interface is created not manually, but using special algorithms that build variations of the

layout, elements and styles according to the user's behavior, type of content or device. This allows you to create unique interfaces that adapt not only to the screen, but also to the context of use. For example, a site can change the location of blocks, the style of images and even the language of text presentation depending on the time of day, geolocation, previous history of user interaction. Such dynamic interfaces are gradually becoming the norm in e-commerce, media platforms and educational resources.

Multimodal interfaces are also actively developing, including voice control, gestures, gaze, or even biometric signals. Sites are gradually integrating with voice assistants, using the Web Speech API for searching, executing commands, and navigating without clicking. This forms a new concept of interaction, when the interface works not only through the mouse and keyboard, but becomes flexible, intuitive, and less noticeable – the so-called zero UI, or “zero interface,” which disappears from view, leaving only functionality.

The importance of personalized is also growing interfaces that change according to the type of user. For example, an educational platform website can show simpler options to beginners and more complex ones to experienced users, change the pace of material presentation, level of difficulty, block design, or even speech style. Such solutions are implemented through dynamic content systems, user segmentation, and analytical behavior models.

In parallel, the role of microinteractions is increasing – small but important animations and visual effects that confirm the user's actions, explain the result or form an emotional response. A new generation of microinteractions includes adaptive scenarios that depend on the user's reaction time, frequency of action or even emotional context. At the same time, design ethics are becoming increasingly relevant – more and more attention is paid to inclusivity, security, respect for time and user privacy. Designers are abandoning manipulative patterns, instead creating transparent interfaces with clear messages, voluntary choice and convenient refusal of subscriptions, cookies, etc.

As a result, new web design methods focus on automation, adaptation, flexibility, emotional connection, and an ethical approach. The interfaces of the future become not only visual, but also intelligent interaction environments that change with the user, taking into account their context, preferences, and even physiological characteristics, which forms a new level of personalized digital experience.

Interactive design is a direction in web design that focuses on creating interfaces that provide active, two-way interaction between the user and the digital environment. Its main goal is not just to display information, but to involve a person in action, to make the interaction process intuitive, emotionally appealing and functionally effective. Interactive design encompasses all aspects that respond to user behavior – buttons, animations, pop-up tools, visual reactions to clicks, dynamic forms, as well as more complex mechanisms – configurators, filters, switches, interactive diagrams, 3D objects, etc.

One of the key features of interactive design is the presence of feedback. Any action of the user should receive visual or functional confirmation: by clicking a button, he sees its color change, receives a notification about the successful submission of a form, or sees the progress of the task. Such feedback reduces uncertainty and anxiety, increases control over the interface and provides a logical connection between actions and results. It is important that this process occurs without delays, smoothly and predictably.

Interactive design is based on the principles of usability, accessibility, perception psychology, and visual hierarchy. It involves not only a beautiful implementation of the interface, but also a well-thought-out logic of scenarios – what the user does, where he goes next, how quickly he achieves the goal. Effective interactive design helps to avoid errors, simplifies processes, and motivates to act. For example, in a mobile application for food delivery, interactivity is manifested in dynamic lists of products, the ability to customize an order, choose a delivery time, and monitor the courier's movement on the map – and all this happens in a few touches.

Modern technologies such as JavaScript, CSS animations, WebGL, APIs and frameworks (React, Vue, Angular) allow for the implementation of complex interactive scenarios even in the browser – without the need for additional software. For example, interactive presentations, simulations, mapping interfaces, educational visualizations, calculators or feedback modules have become a standard part of modern web design.

Interactive design also takes into account the context of interaction: device type, technical specifications, touch input availability, connection speed, etc. It should be adaptive – and not only in terms of composition, but also in terms of logic: some interactive elements may have a simplified version for mobile devices or be replaced with text analogues for people with special needs.

In short, interaction design is not just a set of effects, but a methodology for creating interfaces that feel alive, flexible, controllable, and action-oriented. It is a discipline that combines aesthetics, engineering, and emotion in a single environment that allows not only viewing information, but also fully interacting with it, creating a new quality of digital experience.

Interactive design continues to evolve as a key component not only of web environments, but also of digital ecosystems in general – mobile applications, interactive panels, virtual and augmented reality. A distinctive feature of modern interactive design is its focus on dialogue between the user and the system. If earlier the web page was static – just a presentation of information, now it reacts, predicts and adapts to the user's actions, creating the illusion of live communication. This is manifested in mechanisms such as adaptive forms that change fields according to previous answers, or search systems with hints that learn from the history of queries and offer options in real time.

An important aspect of interactive design is emotional engagement, which is achieved through micro-animations, sound effects, dynamic color changes, and smooth transitions between interface states. All of this creates a sense of response and validation that forms an emotional connection with a digital product. For example, when a user presses a button and sees a loading animation or a slight vibration, they feel that the system is working and responding to them. This connection, although invisible at first glance, is extremely important for trust and enjoyment of use.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics. After launching the interface, designers analyze how users interact with elements, where difficulties arise, at what steps they leave the site. This allows not only to improve the logic of interaction, but also to build hypotheses for A/B testing, improve microinteractions, change the structure of scenarios without a complete redesign. This approach brings design closer to a cyclical system, where the interface is not a finished product, but is constantly improved, responding to the behavior of real users.

A separate niche is occupied by interactivity in educational and presentation materials – from interactive courses to webinars and digital instructions. Here, the design should not just attract, but help to assimilate information through action, simulation or visual experiment. For example, the user can independently build a virtual model, go through a simulated process or see the change of

parameters in an interactive graph – this contributes to deeper memorization and understanding.

In short, interactive design is not just a reaction to a click, but a holistic system of interaction, where each element is subordinated to the logic of a mutual dialogue with the user. It forms not only a visual environment, but also a behavioral model of a digital platform that responds, supports, helps and, ultimately, forms a high-quality, memorable experience. In the future, interactive design will increasingly take on the features of an intelligent environment that anticipates the user's needs before he has time to act.

Interactive design is a direction in web design that focuses on creating interfaces that provide active, two-way interaction between the user and the digital environment. Its main goal is not just to display information, but to involve a person in action, to make the interaction process intuitive, emotionally appealing and functionally effective. Interactive design encompasses all aspects that respond to user behavior – buttons, animations, pop-up tools, visual reactions to clicks, dynamic forms, as well as more complex mechanisms – configurators, filters, switches, interactive diagrams, 3D objects, etc.

One of the key features of interactive design is the presence of feedback. Any action of the user should receive visual or functional confirmation: by clicking a button, he sees its color change, receives a notification about the successful submission of a form, or sees the progress of the task. Such feedback reduces uncertainty and anxiety, increases control over the interface and provides a logical connection between actions and results. It is important that this process occurs without delays, smoothly and predictably.

Interactive design is based on the principles of usability, accessibility, perception psychology, and visual hierarchy. It involves not only a beautiful implementation of the interface, but also a well-thought-out logic of scenarios – what the user does, where he goes next, how quickly he achieves the goal. Effective interactive design helps to avoid errors, simplifies processes, and motivates to act. For example, in a mobile application for food delivery, interactivity is manifested in dynamic lists of products, the ability to customize an order, choose a delivery time, and monitor the courier's movement on the map – and all this happens in a few touches.

Modern technologies such as JavaScript, CSS animations, WebGL, APIs and frameworks allow for the implementation of complex interactive scenarios

even in the browser – without the need for additional software. For example, interactive presentations, simulations, mapping interfaces, educational visualizations, calculators or feedback modules have become a standard part of modern web design.

Interactive design also takes into account the context of interaction: device type, technical specifications, touch input availability, connection speed, etc. It should be adaptive – and not only in terms of composition, but also in terms of logic: some interactive elements may have a simplified version for mobile devices or be replaced with text analogues for people with special needs.

In short, interaction design is not just a set of effects, but a methodology for creating interfaces that feel alive, flexible, controllable, and action-oriented. It is a discipline that combines aesthetics, engineering, and emotion in a single environment that allows not only viewing information, but also fully interacting with it, creating a new quality of digital experience.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics, which allows you to study how users interact with interface elements, which areas of the screen they pay attention to, which actions they perform first, where difficulties or points of churn occur. By analyzing these indicators, designers receive real data for making decisions – what should be changed, simplified or strengthened in the interaction. Behavioral analytics is usually based on heat maps of clicks, tracking mouse movement, scroll depth, the number of interactions with certain elements, as well as the time spent on performing certain actions. Tools such as Hotjar, Microsoft Clarity, Google Analytics or Yandex Metrica allow you to visualize this data and identify which parts of the site work effectively and which go unnoticed.

Interactive design, formed without the participation of analytics, risks remaining only visually attractive, but non-functional. Therefore, the modern approach involves iterative work: after deploying the interface in a real environment, behavioral data is collected, hypotheses are tested on their basis (for example, that changing the color of a button or the location of a form will reduce the bounce rate), and changes are made according to the results. Such a cycle allows you to gradually improve the site without a complete redesign, while maintaining the consistency of style and user logic. In the context of interaction with the interface, analytics helps not only to improve the visual part, but also to understand the motivation,

behavioral patterns and expectations of the target audience more deeply. As a result, interactive design and behavioral analytics form a single system where design is not dictated by assumptions, but is created and improved based on actual user experience.

Website design is a key step in creating an effective and attractive web resource that combines aesthetics, functionality and user-friendliness. It covers both visual and structural aspects that form the overall impression of the site. At the initial stage, design begins with studying the target audience, analyzing competitors and determining the main goal of the site. Based on the information collected, a visual style concept is created, which includes a color palette, typography, icons and other graphic elements that reflect the brand or idea of the project.

Next, wireframes (page skeletons) are created, which show the location of the main blocks of the site without detailing the appearance. This allows you to coordinate the navigation logic, information structure and the relationship between interface elements. After approving the structure, they proceed to the development of mockups – highly detailed visualizations of pages that demonstrate the final appearance of the site. At this stage, it is important to ensure the convenience of user interaction with the site (UI/UX design), provide for accessibility on different devices (responsive design) and avoid overloading with unnecessary elements.

Particular attention is paid to visual hierarchy – the elements that should attract the user's attention first (for example, call-to-action buttons, headings, menus). Consistency of styles for all pages is also important in design to maintain integrity and recognition. After approval, the design layouts are transferred to a layout designer or front-end developer for technical implementation, during which it is important to maintain pixel accuracy, take into account cross-browser compatibility and ensure compliance with the original idea. As a result, high-quality site design not only creates a pleasant impression, but also directly affects user behavior, contributes to the achievement of business goals and increases trust in the resource.

Website design development includes a number of sequential stages, each of which is critical to creating a convenient, aesthetically appealing and functional web resource. After determining the purpose of the site and the needs of the target audience, the customer's requirements and wishes are collected, as well

as market research and competitor analysis. This analytical stage allows you to identify effective approaches, avoid common mistakes and lay the foundation for a unique and competitive design. Next, a general concept is formed: the designer chooses a design style – it can be minimalist, corporate, futuristic or focused on emotional perception, depending on the topic of the resource.

One of the basic tools at this stage is a moodboard – a set of references that reflect the desired visual direction: color schemes, typography, examples of interfaces. After that, wireframes (page frames) are created – simplified graphic diagrams that determine the location of blocks: headers, menus, content sections, feedback forms, footers, etc. This is critically important for ensuring navigation logic and ease of use. It is important that the structure does not overload the user and allows you to quickly find the necessary information. After the diagrams are approved, they proceed to the visual design stage – creating design layouts in specialized programs (Figma, Adobe XD, Sketch).

The principles of contrast, rhythm, balance, and consistency are applied at this stage. Contrast helps to highlight key points, such as call-to-action (CTA) buttons, while rhythm and grid provide visual harmony and even placement of elements. The color palette is chosen based on the psychology of color: blue is associated with trust, green with calm or environmental friendliness, and red with energy or danger. Typography is selected based on readability and the overall style of the site. It is important to use no more than two or three fonts to ensure the integrity of the style.

At the same time, the adaptability of the design is taken into account – the ability to display correctly on different devices: desktops, tablets, smartphones. Adaptive layout involves flexible layout of blocks, changing fonts, images and indents depending on the screen size. After completing graphic development, the layouts are tested in Figma or other services: the logic of transitions, the convenience of clicking on elements, and the consistency of colors are checked. Usability tests are often conducted with the participation of real users, which allows you to identify problem areas in interaction with the site even before the stage of software implementation.

At the final stage, the design is transferred to the developers with an explanation of all the parameters: colors, fonts, sizes, line spacing, as well as interactive states of elements (hover, active, disabled). As a result, a well-designed site design not only attracts the user, but also affects conversions, the

duration of stay on the page and the formation of trust in the brand. Modern web design strives not just for a visual impression, but also for creating a comfortable, fast and effective user experience.

After the approved design is transferred to the layout stage, it is important to maintain the correspondence between the visual elements and their technical implementation. The web developer responsible for the front end must take into account the nuances of the adaptive grid, the behavior of blocks when changing the size of the browser window, and support for different browsers and platforms. During this period, animations are also implemented – smooth transitions, hover effects, reactions to button presses, which not only improve the impression of the site, but also serve as feedback to the user, suggesting that the element is active. Accessibility requires special attention, which provides the possibility of comfortable use of the site by people with visual, hearing, or motor impairments. This means the use of contrasting colors, descriptive captions for images (alt tags), support for navigation using the keyboard and on-screen narrators.

After the layout comes the stage of integration with the backend – that is, connecting dynamic data, forms, personal accounts, interactive services. In terms of design, this means testing in a real environment, where it is important to make sure that all graphic elements, regardless of changes in content, retain their structure and do not cause display errors. In practice, this often requires optimizing images for fast loading, implementing SVG elements instead of raster ones to maintain clarity, connecting external fonts, taking into account their weight and impact on site performance.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics, which allows you to study how users interact with interface elements, which areas of the screen they pay attention to, which actions they perform first, where difficulties or points of churn occur. By analyzing these indicators, designers receive real data for making decisions – what should be changed, simplified or strengthened in the interaction. Behavioral analytics is usually based on heat maps of clicks, tracking mouse movement, scroll depth, the number of interactions with certain elements, as well as the time spent on performing certain actions. Tools such as Hotjar, Microsoft Clarity, Google Analytics or Yandex Metrica allow you to visualize this data and identify which parts of the site work effectively and which go unnoticed.

Interactive design, formed without the participation of analytics, risks remaining only visually attractive, but non-functional. Therefore, the modern approach involves iterative work: after deploying the interface in a real environment, behavioral data is collected, hypotheses are tested on their basis (for example, that changing the color of a button or the location of a form will reduce the bounce rate), and changes are made according to the results. Such a cycle allows you to gradually improve the site without a complete redesign, while maintaining the consistency of style and user logic. In the context of interaction with the interface, analytics helps not only to improve the visual part, but also to understand the motivation, behavioral patterns and expectations of the target audience more deeply. As a result, interactive design and behavioral analytics form a single system where design is not dictated by assumptions, but is created and improved based on actual user experience.

Website design is a key step in creating an effective and attractive web resource that combines aesthetics, functionality and user-friendliness. It covers both visual and structural aspects that form the overall impression of the site. At the initial stage, design begins with studying the target audience, analyzing competitors and determining the main goal of the site. Based on the information collected, a visual style concept is created, which includes a color palette, typography, icons and other graphic elements that reflect the brand or idea of the project.

Next, wireframes (page skeletons) are created, which show the location of the main blocks of the site without detailing the appearance. This allows you to coordinate the navigation logic, information structure and the relationship between interface elements. After approving the structure, they proceed to the development of mockups – highly detailed visualizations of pages that demonstrate the final appearance of the site. At this stage, it is important to ensure the convenience of user interaction with the site (UI/UX design), provide for accessibility on different devices (responsive design) and avoid overloading with unnecessary elements.

Particular attention is paid to visual hierarchy – the elements that should attract the user's attention first (for example, call-to-action buttons, headings, menus). Consistency of styles for all pages is also important in design to maintain integrity and recognition. After approval, the design layouts are transferred to a layout designer or front-end developer for technical implementation, during

which it is important to maintain pixel accuracy, take into account cross-browser compatibility and ensure compliance with the original idea. As a result, high-quality site design not only creates a pleasant impression, but also directly affects user behavior, contributes to the achievement of business goals and increases trust in the resource.

Website design development includes a number of sequential stages, each of which is critical to creating a convenient, aesthetically appealing and functional web resource. After determining the purpose of the site and the needs of the target audience, the customer's requirements and wishes are collected, as well as market research and competitor analysis. This analytical stage allows you to identify effective approaches, avoid common mistakes and lay the foundation for a unique and competitive design. Next, a general concept is formed: the designer chooses a design style – it can be minimalist, corporate, futuristic or focused on emotional perception, depending on the topic of the resource.

One of the basic tools at this stage is a moodboard – a set of references that reflect the desired visual direction: color schemes, typography, examples of interfaces. After that, wireframes (page frames) are created – simplified graphic diagrams that determine the location of blocks: headers, menus, content sections, feedback forms, footers, etc. This is critically important for ensuring navigation logic and ease of use. It is important that the structure does not overload the user and allows you to quickly find the necessary information. After the diagrams are approved, they proceed to the stage of visual design – creating design layouts in specialized programs.

The principles of contrast, rhythm, balance, and consistency are applied at this stage. Contrast helps to highlight key points, such as call-to-action (CTA) buttons, while rhythm and grid provide visual harmony and even placement of elements. The color palette is chosen based on the psychology of color: blue is associated with trust, green with calm or environmental friendliness, and red with energy or danger. Typography is selected based on readability and the overall style of the site. It is important to use no more than two or three fonts to ensure the integrity of the style.

After transferring the approved design to the layout stage, it is important to maintain the correspondence between the visual elements and their technical implementation. The web developer must take into account the nuances of the adaptive grid, the behavior of blocks when changing the size of the browser

window, support for different browsers and platforms. During this period, animations are also implemented – smooth transitions, hover effects, reactions to button presses. Accessibility requires special attention, which provides for the possibility of comfortable use of the site by people with visual, hearing or motor impairments.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics, which allows you to study how users interact with interface elements, which areas of the screen they pay attention to, which actions they perform first, where difficulties or points of churn occur. By analyzing these indicators, designers receive real data for making decisions – what should be changed, simplified or strengthened in the interaction. Behavioral analytics is usually based on heat maps of clicks, tracking mouse movement, scroll depth, the number of interactions with certain elements, as well as the time spent on performing certain actions. Tools such as Hotjar, Microsoft Clarity, Google Analytics or Yandex Metrica allow you to visualize this data and identify which parts of the site work effectively and which go unnoticed.

Interactive design, formed without the participation of analytics, risks remaining only visually attractive, but non-functional. Therefore, the modern approach involves iterative work: after deploying the interface in a real environment, behavioral data is collected, hypotheses are tested on their basis (for example, that changing the color of a button or the location of a form will reduce the bounce rate), and changes are made according to the results. Such a cycle allows you to gradually improve the site without a complete redesign, while maintaining the consistency of style and user logic. In the context of interaction with the interface, analytics helps not only to improve the visual part, but also to understand the motivation, behavioral patterns and expectations of the target audience more deeply. As a result, interactive design and behavioral analytics form a single system where design is not dictated by assumptions, but is created and improved based on actual user experience.

Website design is a key step in creating an effective and attractive web resource that combines aesthetics, functionality and user-friendliness. It covers both visual and structural aspects that form the overall impression of the site. At the initial stage, design begins with studying the target audience, analyzing competitors and determining the main goal of the site. Based on the information collected, a visual style concept is created, which includes a color

palette, typography, icons and other graphic elements that reflect the brand or idea of the project.

Next, wireframes (page skeletons) are created, which show the location of the main blocks of the site without detailing the appearance. This allows you to coordinate the navigation logic, information structure and the relationship between interface elements. After approving the structure, they proceed to the development of mockups – highly detailed visualizations of pages that demonstrate the final appearance of the site. At this stage, it is important to ensure the convenience of user interaction with the site (UI/UX design), provide for accessibility on different devices (responsive design) and avoid overloading with unnecessary elements.

Particular attention is paid to visual hierarchy – the elements that should attract the user's attention first (for example, call-to-action buttons, headings, menus). Consistency of styles for all pages is also important in design to maintain integrity and recognition. After approval, the design layouts are transferred to a layout designer or front-end developer for technical implementation, during which it is important to maintain pixel accuracy, take into account cross-browser compatibility and ensure compliance with the original idea. As a result, high-quality site design not only creates a pleasant impression, but also directly affects user behavior, contributes to the achievement of business goals and increases trust in the resource.

Website design development includes a number of sequential stages, each of which is critical to creating a convenient, aesthetically appealing and functional web resource. After determining the purpose of the site and the needs of the target audience, the customer's requirements and wishes are collected, as well as market research and competitor analysis. This analytical stage allows you to identify effective approaches, avoid common mistakes and lay the foundation for a unique and competitive design. Next, a general concept is formed: the designer chooses a design style – it can be minimalist, corporate, futuristic or focused on emotional perception, depending on the topic of the resource.

One of the basic tools at this stage is a moodboard – a set of references that reflect the desired visual direction: color schemes, typography, examples of interfaces. After that, wireframes (page frames) are created – simplified graphic diagrams that determine the location of blocks: headers, menus, content sections, feedback forms, footers, etc. This is critically important for ensuring

navigation logic and ease of use. It is important that the structure does not overload the user and allows you to quickly find the necessary information. After the diagrams are approved, they proceed to the stage of visual design – creating design layouts in specialized programs.

The principles of contrast, rhythm, balance, and consistency are applied at this stage. Contrast helps to highlight key points, such as call-to-action (CTA) buttons, while rhythm and grid provide visual harmony and even placement of elements. The color palette is chosen based on the psychology of color: blue is associated with trust, green with calm or environmental friendliness, and red with energy or danger. Typography is selected based on readability and the overall style of the site. It is important to use no more than two or three fonts to ensure the integrity of the style.

At the same time, the adaptability of the design is taken into account – the ability to display correctly on different devices: desktops, tablets, smartphones. Adaptive layout involves flexible layout of blocks, changing fonts, images and indents depending on the screen size. After the graphic development is completed, the layouts are tested in services: the logic of transitions, the convenience of clicking on elements, and the consistency of colors are checked. Usability tests are often conducted with the participation of real users.

At the final stage, the design is transferred to the developers with an explanation of all the parameters: colors, fonts, sizes, line spacing, as well as interactive states of elements. As a result, a well-designed site design not only attracts the user, but also affects conversions, the duration of stay on the page and the formation of trust in the brand. Modern web design strives not just for a visual impression, but also for creating a comfortable, fast and effective user experience.

After transferring the approved design to the layout stage, it is important to maintain the correspondence between the visual elements and their technical implementation. The web developer must take into account the nuances of the adaptive grid, the behavior of blocks when changing the size of the browser window, support for different browsers and platforms. During this period, animations are also implemented – smooth transitions, hover effects, reactions to button presses. Accessibility requires special attention, which provides for the possibility of comfortable use of the site by people with visual, hearing or motor impairments.

The final stage is testing the entire site for compliance with the design layout, technical requirements, and user expectations. This includes a multifaceted process – checking usability, behavior on mobile devices, assessing load time, and the correct operation of interactive components such as forms, menus, and drop-down lists. If discrepancies are found, the design and development team collaborates to eliminate errors and clarify specifications. Often, in modern practice, after the site is launched, analytics of user interaction with the interface are conducted – using Google Analytics, Hotjar, Yandex Metrica, or similar systems. This allows you to identify weaknesses in the design that need improvement based on real data, and periodically update or rework individual components.

Thus, website design is not a one-time act of creating a visual style, but a complex iterative process that combines aesthetics, functionality, engineering precision, and a deep understanding of user behavior. Successful web design is a synthesis of artistic vision and technical implementation that constantly evolves along with the development of technology, standards, and audience expectations.

In the process of maintaining and further developing the site, the design also does not remain constant. After the project is launched, the phase of observing user behavior, analyzing interface efficiency metrics, the number of transitions, clicks, page scrolling, and viewing depth begins. This data helps to understand which elements work well and which ones need improvement. If, for example, call-to-action buttons are ignored or users leave the page without interacting, this may indicate imperfect compositional construction or low visibility of elements. Then A/B testing techniques are used – several interface variants are developed, and which one shows the best results in terms of behavioral indicators is monitored.

In addition, the design of the site needs to be periodically updated in accordance with new standards and trends. An outdated visual style, incompatibility with modern devices or outdated navigation logic can negatively affect the company's image or reduce the level of trust in the online service. In this regard, there is a need for redesign – a partial or complete restructuring of the structure and appearance of the site. Redesign is based on an assessment of the relevance of the functionality, changes in brand positioning, increased user expectations or updating the corporate identity. This is not only a graphic

modernization, but also an opportunity to review the user's interaction with the site, simplify navigation, reduce the number of clicks to the target action or adapt the interface to new types of content – video, interactive visualizations, online chats.

The final stage is testing the site for compliance with the design layout, technical requirements and user expectations. This includes checking usability, behavior on mobile devices, assessing load time and the correct operation of interactive components such as forms, menus, drop-down lists. If discrepancies are found, the design and development team collaborates to eliminate errors and clarify specifications. After the site is launched, analytics of user interaction with the interface are often conducted using systems such as Google Analytics, Hotjar or Yandex Metrica. This allows you to identify weak points in the design and update or redesign individual components.

Website design is a complex iterative process that combines aesthetics, functionality, engineering precision, and understanding of user behavior. Successful web design is a synthesis of artistic vision and technical implementation that evolves with the development of technology, standards, and audience expectations.

In the process of maintaining and developing the site, the design also does not remain constant. After the project is launched, the phase of observing user behavior begins, analyzing the effectiveness of the interface, the number of transitions, clicks, page scrolling, and viewing depth. This data helps to understand which elements work well and which need improvement. If call-to-action buttons are ignored or users leave the page without interacting, this may indicate imperfect composition or low visibility of elements. Then A/B testing techniques are used to develop several interface variants and determine the best one in terms of behavioral indicators.

Website design needs to be periodically updated in accordance with new standards and trends. An outdated visual style, incompatibility with modern devices, or outdated navigation logic can negatively affect the company's image or reduce the level of trust in the online service. In this regard, there is a need for redesign, which is based on an assessment of the relevance of functionality, changes in brand positioning, increased user expectations, or updating the corporate identity. This is not only a graphic modernization, but also an opportunity to review user interaction with the site, simplify navigation, reduce

the number of clicks to the target action, or adapt the interface to new types of content – video, interactive visualizations, online chats.

A separate direction in the development of web design is interface personalization. Using technologies for tracking user behavior, systems can adapt the content or layout of a page to the preferences of a particular person. This allows not only to improve the experience, but also to increase conversion, since the user receives relevant content without unnecessary actions. At the same time, personalization requires taking into account ethical aspects and privacy policies, which are also reflected in the design – for example, in the form of clear messages about cookies or consent to data processing.

Modern trends in web design are focused on minimalism, micro-animation, dark mode, voice navigation, interactive typography and immersive elements that attract the user to interaction. At the same time, the high pace of development of technologies, mobile platforms and accessibility requirements forces designers to constantly learn, master new tools, adapt to changes in audience behavior. That is why website design today is not only an artistic project, but also an analytical, technical and social discipline that requires an interdisciplinary approach and strategic thinking.

In the context of a strategic approach, web design becomes part of the overall communication policy of a brand or organization, because every visual element, every decision on the placement of information affects the user's perception. It is important that the design not only reflects the visual preferences of the target audience, but also conveys the values, style, tone and character of the brand. For example, a university website should radiate authority, structure and accessibility, while a creative studio website should demonstrate innovation, freedom of form and originality. The design should meet the emotional expectations of the user, be intuitive and at the same time aesthetically expressive. This is achieved through a balance between content, form and function, where each block or element carries a semantic load and at the same time fits into the overall visual harmony.

Another important aspect is maintaining design consistency. Regardless of the number of pages or the complexity of the site, the user should feel a unity of style, predictability of the placement of functional elements, and the same behavior of the interface in similar situations. This is achieved by using a system of design components, which includes standardized buttons, input

fields, navigation blocks, colors, and typographic hierarchy. Such systems not only simplify the work of the team, but also provide convenience for users who quickly adapt to a familiar interaction pattern.

Thanks to the development of prototyping and collaboration tools (e.g. Figma, Adobe XD, Zeplin), modern web design has become a more interactive and team-oriented process. Designers can now collaborate in real time with developers, marketers, and copywriters, creating a full-fledged product development ecosystem. This allows you to avoid communication errors, quickly make changes, adapt the design to new requirements, and test hypotheses before the start of software implementation. Moreover, the integration of design with project management systems (e.g. Jira, Trello, Notion) allows you to monitor progress, record tasks, and transparently manage the process from idea to launch.

Ultimately, website design is not an isolated fragment of the development process, but its core, setting the direction and pace of all subsequent work. It becomes a kind of bridge between technical capabilities, business objectives and user expectations. Well-thought-out design can turn an ordinary web page into an effective tool for influence, communication and interaction. In the age of digital technologies, design is the plane where a person's first encounter with an idea, service or product takes place. And how well this encounter is designed determines whether the acquaintance will continue or whether it will turn into a long-term relationship between the user and the brand.

In addition to strategic, aesthetic, and technical components, it is important to consider website design as a dynamic environment that is constantly evolving and adapting to new technologies, changes in user behavior, and transformations in the digital environment in general. The emergence of new device formats – from flexible screens to voice interfaces and wearable technologies – requires designers to think bigger, go beyond the traditional two-dimensional page layout, and design interfaces taking into account the context of use, spatial navigation, multi-channel interaction, and emotional engagement. There is an increasing need to develop designs that respond to external conditions: geolocation, time of day, biometric parameters of the user, or even his emotional state determined by artificial intelligence.

A separate direction in the development of web design is interface personalization. Using technologies for tracking user behavior, systems can

adapt the content or layout of a page to the preferences of a specific person. This allows you to improve the experience and increase conversion, as the user receives relevant content without unnecessary actions. Personalization requires taking into account ethical aspects and privacy policies, which are reflected in the design – for example, in the form of clear messages about cookies or consent to data processing.

Thanks to the development of prototyping and collaboration tools (e.g. Figma, Adobe XD, Zeplin), modern web design has become a more interactive and team-oriented process. Designers can now collaborate in real time with developers, marketers, and copywriters, creating a full-fledged product development ecosystem. This allows you to avoid communication errors, quickly make changes, adapt the design to new requirements, and test hypotheses before the start of software implementation. Integrating design with project management systems (e.g. Jira, Trello, Notion) allows you to monitor progress, record tasks, and transparently manage the process from idea to launch.

Ultimately, website design is not an isolated fragment of the development process, but its core, setting the direction and pace of all subsequent work. It becomes a kind of bridge between technical capabilities, business objectives and user expectations. Well-thought-out design can turn an ordinary web page into an effective tool for influence, communication and interaction. In the age of digital technologies, design is the plane where a person first meets an idea, service or product. And how well this meeting is designed determines whether the acquaintance will continue or whether it will turn into

In parallel, the ethics of digital design are developing. Websites are no longer just tools for delivering information – they form habits, influence thinking, stimulate or inhibit behavioral responses. That is why design should create not only a convenient environment, but also a safe and responsible one. It is unacceptable to use manipulative patterns (for example, hidden unsubscribe buttons, aggressive pop-ups, an artificially created sense of urgency), even if this temporarily increases conversion. In the long run, user trust is much more valuable than immediate benefit. Therefore, interface design should take into account transparency, control over personal data, voluntariness of actions, and respect for the user's time and attention.

A modern designer is no longer just an “interface artist” – he is an analyst, strategist, psychologist, and mediator between a person and a digital system.

His task is not just to create a pretty picture, but to design an experience in which each element has meaning, function, and place. Web design today is a constant dialogue: between structure and emotion, between technology and humanity, between instant impression and long-term loyalty. Therefore, every stage, every decision, even in detail, must answer the key question: “How will this help a person?” And this is the true essence of website design development.

Thus, in the development of website design, there are clear evaluation criteria that allow us to objectively determine its quality, effectiveness, and compliance with the tasks set. One of the key criteria is usability – the convenience of using the site, which includes the navigation logic, the clarity of the interface, the ease of performing basic actions (for example, searching for information, placing an order, or filling out a form). An important parameter here is intuitiveness: the user should be able to navigate without the need for additional instructions. The next criterion is visual appeal, i.e. the overall aesthetics of the design, the consistency of style, typography, colors, proportions, and graphic elements. High-quality design should make a pleasant impression and not overload perception.

Adaptability is also assessed, i.e. the ability of the interface to be displayed correctly on different devices and screen sizes. In modern web design, this aspect is mandatory: the design must maintain logic, readability and functionality on smartphones, tablets, laptops, etc. Another important criterion is the loading speed, which depends not only on code optimization, but also on design decisions – for example, the size and format of images, the use of animations or fonts. Too heavy visual content can slow down the site, which negatively affects the user experience.

In addition, an important criterion is the functionality and purposefulness of the design, that is, its ability to effectively fulfill its role – to inform, persuade, sell or engage. This is checked by analyzing behavioral metrics: whether users easily find the information they need, whether they complete the actions that the site prompts. Accessibility is also taken into account – how well the site is usable by people with disabilities, whether there is sufficient color contrast, whether there are alternative texts for images, whether keyboard navigation is supported.

Additional criteria may include design uniqueness, lack of patterning, brand compliance, interface consistency (unity of style and logic on all pages), and compliance with the technical task or customer requirements. Taking

into account all these aspects, an overall assessment of the quality of the site design is formed, which helps to identify strengths and areas for improvement, especially when conducting redesigns or interface audits.

The field of web design development uses a wide range of software products that cover all stages – from creating sketches to transferring mockups to development and testing. The most popular tool in modern web design is Figma – a cloud-based interface creation platform that allows developers and designers to work simultaneously on the same mockup in real time. It supports components, styles, interactive prototypes and plugins for task automation, so it is a universal solution for teamwork. An alternative is Adobe XD – an Adobe product focused on UI/UX design with a wide range of features for animation, interactivity and compatibility with other Adobe applications, including Photoshop and Illustrator. Another common tool is Sketch – an application popular among macOS designers that focuses on creating interfaces, design systems and components with a flexible plugin ecosystem.

A modern designer is no longer just an “interface artist” – he is an analyst, strategist, psychologist, and mediator between a person and a digital system. His task is not just to create a pretty picture, but to design an experience in which each element has meaning, function, and place. Web design today is a constant dialogue between structure and emotion, between technology and humanity, between instant impression and long-term loyalty. Therefore, every stage, every decision must answer the key question: “How will this help a person?” And this is the essence of website design development.

In the development of website design, there are clear evaluation criteria that allow us to determine its quality, effectiveness and compliance with the tasks set. One of the key criteria is usability – the convenience of using the site, which includes navigation logic, interface clarity, ease of performing basic actions, such as searching for information, placing an order or filling out a form. An important parameter is intuitiveness: the user should be able to navigate without the need for additional instructions. The next criterion is visual appeal, i.e. the overall aesthetics of the design, consistency of style, typography, colors, proportions, graphic elements. High-quality design should make a pleasant impression and not overload perception.

Adaptability is also assessed, i.e. the ability of the interface to be displayed correctly on different devices and screen sizes. In modern web design, this aspect

is mandatory: the design must maintain logic, readability and functionality on smartphones, tablets, laptops, etc. Another important criterion is the loading speed, which depends not only on code optimization, but also on design decisions, such as the size and format of images, the use of animations or fonts. Too heavy visual content can slow down the site, which negatively affects the user experience.

An important criterion is the functionality and purpose of the design, that is, its ability to effectively fulfill its role – to inform, persuade, sell or engage. This is checked by analyzing behavioral metrics: whether users easily find the information they need, whether they complete the actions that the site prompts. Accessibility is also taken into account – how well the site is usable by people with disabilities, whether there is sufficient color contrast, whether there are alternative texts for images, whether keyboard navigation is supported.

Additional criteria may include design uniqueness, lack of patterning, brand compliance, interface consistency (unity of style and logic on all pages), and compliance with the technical task or customer requirements. Taking into account all these aspects, an overall assessment of the quality of the site design is formed, which helps to identify strengths and areas for improvement, especially when conducting redesigns or interface audits.

The field of web design development uses a wide range of software products that cover all stages – from creating sketches to transferring mockups to development and testing. The most popular tool in modern web design is Figma – a cloud-based interface creation platform that allows developers and designers to work simultaneously on the same mockup in real time. It supports components, styles, interactive prototypes and plugins for task automation, so it is a universal solution for teamwork. An alternative is Adobe XD – an Adobe product focused on UI/UX design with a wide range of features for animation, interactivity and compatibility with other Adobe applications, including Photoshop and Illustrator. Another common tool is Sketch – an application popular among macOS designers that focuses on creating interfaces, design systems and components with a flexible plugin ecosystem.

For image and graphics processing, Adobe Photoshop is widely used – a universal raster graphics editor that allows you to create banners, background images, textures and visual effects. Adobe Illustrator is used to work with vector graphics and icons, especially when it is necessary to create a logo or scalable

interface elements. If 3D visualization is needed, designers can use Blender or Cinema 4D, although these tools are more typical for specialized projects, such as web presentations of products or visualization of spatial concepts.

At the stage of creating prototypes and testing the usability of the interface, services such as InVision are used – a platform for interactive prototyping, commenting and presentations to clients. In the field of building a responsive grid and rapid layout, Webflow is often used – a tool that combines a graphical interface design with the ability to export pure HTML/CSS/JS code. To create animations and microinteractions, Principle or Framer is used, which allow you to simulate the behavior of the interface before its implementation in code.

To work with design systems, share components and styles across projects, use services such as Zeroheight, Abstract or UXPin, which integrate with major graphic editors. To document design processes, store specifications, and interact with developers, use Zeplin, Avocode or Figma Dev Mode, which allow programmers to easily access colors, fonts, sizes and CSS properties without having to contact a designer.

Thus, software products for website design form a complex infrastructure, where each tool performs a specific function – from creative inspiration to precise technical implementation. Their correct combination allows you to create modern, convenient, fast and aesthetically perfect web interfaces that meet the highest standards of interaction in the digital environment.

Animation plays an important role in web design, as it not only adds visual appeal, but also significantly improves the user's interaction with the site. Its main purpose is to provide a smooth and understandable transition between interface states, emphasize key elements, and create a sense of dynamism and «liveliness» of the web resource. Animation helps to direct attention: for example, when the user hovers over a button and it changes color or increases slightly, this signals that the element is interactive. Thus, animation performs a feedback function – it indicates the result of the action and confirms that the system is responding to the user.

It is also used to improve navigation – smooth scrolling, sliding menus, soft appearance of modal windows or messages make moving around the page more logical and comfortable. In more complex interfaces, where there is a lot of information or several levels of nesting, animation makes it easier to understand the hierarchy and relationships. For example, when a list or tab is expanded, the

user sees where it appeared and where it disappears, which creates cognitive coherence in the visual environment.

In addition to its functional purpose, animation has an emotional charge. It can create a certain mood, strengthen a brand, or add uniqueness to an interface. For example, the smooth appearance of a logo when loading a page or animated illustrations create a positive impression and establish the individuality of the project. At the same time, it is important not to abuse animations, because excessive or too slow use of effects can lead to irritability, attention overload, and even slowing down the site. Modern web design uses micro-animations – small, imperceptible movements that are not distracting, but increase usability: for example, loading indicators, smooth confirmation of actions, shifts when filtering content.

Animation is also part of accessibility, when, for example, prompts or errors appear not instantly, but gradually, which allows people with special perception to better capture changes. It helps to adapt the interface to the user's expectations, to make interaction with the site logical, predictable and pleasant. In short, the role of animation in site design is a combination of functionality, aesthetics and psychological support for the user, which brings the interaction experience to a qualitatively new level.

For image and graphics processing, Adobe Photoshop is widely used – a universal raster graphics editor that allows you to create banners, background images, textures and visual effects. Adobe Illustrator is used to work with vector graphics and icons, especially when it is necessary to create a logo or scalable interface elements. If 3D visualization is needed, designers can use Blender or Cinema 4D, although these tools are more typical for specialized projects, such as web presentations of products or visualization of spatial concepts.

At the stage of creating prototypes and testing the usability of the interface, services such as InVision are used – a platform for interactive prototyping, commenting and presentations to clients. In the field of building a responsive grid and rapid layout, Webflow is often used – a tool that combines a graphical interface design with the ability to export pure HTML/CSS/JS code. To create animations and microinteractions, Principle or Framer is used, which allow you to simulate the behavior of the interface before its implementation in code.

To work with design systems, share components and styles across projects, use services such as Zeroheight, Abstract or UXPin, which integrate with

major graphic editors. To document design processes, store specifications, and interact with developers, use Zeplin, Avocode or Figma Dev Mode, which allow programmers to easily access colors, fonts, sizes and CSS properties without having to contact a designer.

Thus, software products for website design form a complex infrastructure, where each tool performs a specific function – from creative inspiration to precise technical implementation. Their correct combination allows you to create modern, convenient, fast and aesthetically perfect web interfaces that meet the highest standards of interaction in the digital environment.

Animation plays an important role in web design, as it not only adds visual appeal, but also significantly improves the user's interaction with the site. Its main purpose is to provide a smooth and understandable transition between interface states, emphasize key elements, and create a sense of dynamism and «liveliness» of the web resource. Animation helps to direct attention: for example, when the user hovers over a button and it changes color or increases slightly, this signals that the element is interactive. Thus, animation performs a feedback function – it indicates the result of the action and confirms that the system is responding to the user.

It is also used to improve navigation – smooth scrolling, sliding menus, soft appearance of modal windows or messages make moving around the page more logical and comfortable. In more complex interfaces, where there is a lot of information or several levels of nesting, animation makes it easier to understand the hierarchy and relationships. For example, when a list or tab is expanded, the user sees where it appeared and where it disappears, which creates cognitive coherence in the visual environment.

In addition to its functional purpose, animation has an emotional charge. It can create a certain mood, strengthen a brand, or add uniqueness to an interface. For example, the smooth appearance of a logo when loading a page or animated illustrations create a positive impression and establish the individuality of the project. At the same time, it is important not to abuse animations, because excessive or too slow use of effects can lead to irritability, attention overload, and even slowing down the site. Modern web design uses micro-animations – small, imperceptible movements that are not distracting, but increase usability: for example, loading indicators, smooth confirmation of actions, shifts when filtering content.

Animation is also part of accessibility, when, for example, prompts or errors appear not instantly, but gradually, which allows people with special perception to better capture changes. It helps to adapt the interface to the user's expectations, to make interaction with the site logical, predictable and pleasant. In short, the role of animation in site design is a combination of functionality, aesthetics and psychological support for the user, which brings the interaction experience to a qualitatively new level.

Animation requirements in web design, in particular frame rate (FPS – frames per second), are key to ensuring a smooth interface, comfortable user experience and high performance. The generally accepted standard for web animation is a frequency of 60 frames per second (60 FPS). This frequency provides a natural and smooth display of movements, which corresponds to the refresh rate of most screens and is perceived by humans as continuous, “live” movement. If the frequency drops below 30 FPS, users begin to notice jerks, delays, which negatively affects the perception of the interface, reduces trust in the resource and can cause irritation.

FPS requirements depend on the context of the application. For standard micro-animations (hover, tooltips, tab switching), it is optimal to achieve a stable 60 FPS even on mobile devices with limited resources. For more complex interactive effects (e.g. parallax scrolling, 3D animations, WebGL elements), it is desirable to provide at least 45–60 FPS, otherwise delays occur that harm perception. Special attention should be paid to performance on devices with lower graphics capabilities – budget smartphones, tablets, old laptops, where poorly optimized animations can reduce FPS to unacceptable levels.

To achieve the necessary smoothness of animation, it is important to adhere to technical requirements: avoid unnecessary reflows (layout recalculations), limit the use of resource-intensive CSS properties (such as box-shadow, filter, border-radius in large quantities), and give preference to animation of transform and opacity properties, which are optimized for the GPU. In particular, animating positions, sizes, colors in CSS (left, top, height, background-color) often causes excessive CPU load, while translate3d, scale or opacity allow you to achieve the effect without reducing FPS.

Animations should also take into account the user's personal preferences, in particular the «reduced animation» mode (prefers-reduced-motion), which is supported in modern browsers. If the user has enabled such an option, the

system should automatically simplify or disable animation effects to avoid irritation or dizziness.

In conclusion, the requirements for animation in web design include achieving a stable 60 FPS, minimizing the use of heavy CSS properties, ensuring adaptability to device resources, adhering to accessibility standards, and careful testing across browsers and platforms. Optimized animation is not only about beauty, but also about respecting time, technical capabilities, and the user's physiology.

Color in web design is a system of selecting, combining and using colors to create visual harmony, emotional impact and effective communication with the user. Its significance goes far beyond aesthetics, as color is one of the first elements that affects the user's impression of the site. A correctly selected color palette forms brand recognition, creates the appropriate mood and facilitates the perception of information. Colors have a psychological nature: for example, blue is associated with calm and trust, green with harmony and security, red with energy, danger or a call to action, yellow with happiness or attention.

A key aspect of color is the functionality of color. Web design requires not only beautiful combinations, but also those that support usability. The contrast between the background and text should ensure high readability. Too light shades or small differences in brightness can make perception difficult. In addition, colors are used to build a visual hierarchy – accent shades draw attention to important elements: buttons, links, headings, notifications. Using secondary and neutral colors for the background, navigation or auxiliary blocks allows you to avoid visual overload.

Color harmony is important—the ability to combine colors in a way that creates a sense of coherence. To do this, designers use color schemes: monochrome, analogous, complementary, or triadic. Itten's color wheel helps to find successful combinations that maintain a balance between contrast and unity. For example, combining blue with orange creates a dynamic contrast, while green with cyan creates a soft analogous combination.

Color is also closely related to brand identity. Many companies have corporate colors that are embedded in their visual style, and the site must accurately reproduce these colors to maintain recognition. For example, Facebook blue, Coca-Cola red, or Spotify green evoke instant associations. Within a single site, it is important to maintain consistency: the same use of color for certain

types of elements (all buttons are one shade, all headings are another) creates visual stability.

A separate place is occupied by the adaptation of color to the conditions of perception: taking into account the dark theme of the interface (dark mode), screen lighting, color blindness (color blindness). For this, there are accessibility tests that allow you to check the sufficiency of contrast (for example, the WCAG Contrast Checker tool) or test the palette from the point of view of various visual impairments. Color is becoming not just a means of decoration, but an important tool of inclusive design.

In conclusion, the importance of color in web design is to provide visual clarity, emotional impact, structural organization of the interface and support of brand identity. It is a powerful means of communication that works at the subconscious level and is able to build trust, interest and effectiveness of user interaction with a digital product.

One of the basic principles of composition is visual hierarchy, which is the ordering of elements by degree of importance. It is created through size, color, contrast, position, indentation, and typography. For example, large and bold headlines attract attention first, subheadings are read second, and regular text is read last. This allows you to form a logical sequence of viewing content. Another important principle is the layout grid. It provides alignment and symmetry, allows you to coordinate the placement of blocks vertically and horizontally, while maintaining rhythm and visual harmony. The grid also facilitates adaptive layout and scaling of the interface for different screens.

Composition is closely related to the rule of the golden ratio, the rule of thirds, the principles of balance, contrast, rhythm, and dominant. For example, a balanced composition has a symmetrical or asymmetrical ratio of parts, where heavy elements are compensated by free space. The dominant is the most noticeable visual component that sets the center of attention and subordinates all other elements to itself. Free space (white space) in a composition is also extremely important – it creates «breathing» around blocks, reduces visual overload, enhances the meaning of individual elements, and increases readability.

Good composition also takes into account behavioral patterns, such as the natural direction of page scanning. Research shows that most users read a visual

interface in an F or Z pattern, so important elements are placed at the beginning and end of these trajectories. In addition, composition supports adaptability, that is, the ability to maintain logic and consistency when the window size or device orientation changes.

Therefore, the role of composition is not only to aesthetically organize content, but above all to ensure effective user interaction with the site, improve navigation, convey meaning through form and spatial logic. It is it that transforms a set of elements into a clear, functional and attractive interface that meets expectations, simplifies the use of the resource and enhances the overall effectiveness of the digital product.

Yes, in web design there are basic requirements that ensure the efficiency, convenience and aesthetic quality of the interface. These requirements cover both visual and functional aspects of design and are critical for a positive user experience. First of all, it is usability, that is, the convenience of using the site: the interface should be intuitive, with predictable navigation, logical structure and clear controls. The user should be able to find the necessary information or perform a targeted action without additional effort.

The second mandatory requirement is adaptability – the site must be displayed correctly on different devices: desktops, tablets, smartphones, regardless of the screen size. This is achieved by using flexible grids, scalable elements and optimized images. Speed is another critical parameter: the site should load as quickly as possible, preferably in less than 2-3 seconds, as delays reduce the level of satisfaction and can lead to the loss of visitors.

Basic requirements also include contrast and readability – text should be easy to read, fonts should be large enough, and the contrast between text and background should be sufficient for comfortable perception, taking into account accessibility requirements (e.g. WCAG). Color scheme should be consistent, harmonious, support brand identity, and not distract the user. Composition – elements should be placed logically, maintaining visual balance, with enough free space to avoid overload.

In the coming years, web design will increasingly transform from a visual interface design to a systemic, integrated discipline that combines design thinking, analytics, inclusivity, and automation. One of the main areas of development is deep interface personalization – sites gradually adapt to the individual needs, preferences, and context of the user in real time, taking into

account their behavior, interaction history, location, or time of day. This becomes possible thanks to integration with artificial intelligence, machine learning, and recommendation systems.

Another important trend is the development of voice and multimodal interfaces, where interaction with a site occurs not only through a mouse or keyboard, but also with voice, gestures, or even gaze. This requires a rethinking of design: new scenarios, simplified interfaces, an emphasis on inclusivity and accessibility. At the same time, adaptability is reaching a new level: design must take into account not only the size of the screen, but also the type of device, network bandwidth, graphics power, lighting conditions and other variables. This creates a need for context-sensitive design that is flexible and changes dynamically.

One of the promising directions is the development of no-code/low-code design – thanks to platforms like Webflow, Framer or Wix Studio, more and more designers can implement full-fledged projects without the participation of developers, which changes the role and format of the designer's work. This allows you to speed up development, test hypotheses, scale projects and reduce barriers to launching new products. In this context, the importance of design systems is growing – centralized libraries of components, styles and rules that ensure consistency, speed and scalability of design.

Web design is also increasingly focused on micro-interactions, animations, and 3D elements, thanks in part to WebGL, Three.js, and CSS animations. But these effects are no longer decorative – they have a functional purpose: they explain, confirm, simplify the interface, and add emotional connection to the user. At the same time, there is a growing demand for green, energy-efficient sites that are optimized for speed, file size, query volume, and carbon footprint minimization, in line with the overall environmental responsibility of digital products.

In the near future, the importance of ethical design will increase: transparent interfaces, the absence of manipulative patterns (dark patterns), support for digital rights, control over privacy and transparent explanation of system decisions to the user. The role of inclusive design is also increasing – the creation of sites that are convenient for people with disabilities, which will meet not only technical standards, but also the principles of equality in the digital space.

Therefore, the prospects for the development of web design lie in the direction of intellectualization, humanization, automation and personalization of interfaces. A successful designer of the future is not just a layout maker, but a systems thinker, strategist and researcher of user scenarios, who combines creativity with data, intuition with technology, and creates an environment in which a person feels understandable, protected and free.

When specifying the prospects for the development of web design, it is worth paying attention, first of all, to the active implementation of artificial intelligence in the processes of creating interfaces. Already today, with the help of AI assistants such as Adobe Firefly, Figma AI or Uizard, a designer can automatically generate layout options, select color schemes, adapt the design to different platforms or improve the text part of the interface. In the coming years, these systems will become an integral part of daily work: the designer will be able to focus not so much on drawing individual blocks as on a conceptual solution, while the routine will be automated. AI will also help in analytics – for example, based on user behavior, the system will be able to point out weak points in the composition or color accents.

Another specific trend is the spread of neural network personalization of interfaces: websites will dynamically change content and structure depending on the person visiting them. This means that the main page of, for example, an online store will look different for a student looking for budget items and for an entrepreneur interested in the premium segment. This approach is already being implemented in e-commerce, but in the future it will spread to educational platforms, medical services, government sites, and travel portals. This creates a demand for design that is not rigidly fixed, but is able to “rebuild” in real time.

On a more practical level, mobile-first design is gaining importance. According to statistics, most users interact with websites via smartphones, so the design should focus primarily on small screens, touch control, gestures, loading speed and ease of navigation. In this context, progressive web applications (PWAs), which look and work like native mobile applications but operate through a browser, are becoming increasingly popular. The web design of the future will include elements of animation, push notifications, offline caching and adaptation to different OSes – all within the framework of a single web resource.

Special attention is being paid to interfaces designed for short interactions – “fast sites” with minimalist design, large fonts, bright CTAs and a simplified path to the goal. In the future, this will become the new norm for information pages, fast-action services (order, payment, status check), where every second counts. The compositions of such sites are reduced to one or two elements on the screen, large visual areas and a clear emphasis on the main action.

Another specific direction is three-dimensional visualization (3D UI) based on WebGL, Three.js, Spline. Sites with interactive three-dimensional scenes, animated objects or visualization of complex data are gaining popularity in the fields of architecture, education, and product presentation. Web designers will have to work with scenes, lighting, animations, and the camera – that is, go beyond two-dimensional thinking. There is also a growing demand for the integration of AR (augmented reality) elements – this can be viewing a product in your room, a virtual tour, or visualization of instructions.

Another promising method is the deep integration of three-dimensional graphics into web interfaces. Thanks to WebGL, Three.js and Spline technologies, it is possible to create spatial scenes that are not only aesthetically appealing, but also perform a functional load: demonstrate products in 3D, visualize educational materials, create the effect of presence in a digital environment. Spatial design is also actively combined with elements of augmented reality, which allows, for example, to view furniture in your interior or test a gadget in virtual mode. This significantly increases user engagement and the effectiveness of digital communication.

There is also a growing importance of personalized interfaces that change according to the type of user. For example, an educational platform website can show easier options to beginners and more complex ones to experienced users, change the pace of material presentation, level of difficulty, block design, or even the style of speech. Such solutions are implemented through dynamic content systems, user segmentation, and analytical behavior models.

Interactive design is a direction in web design that focuses on creating interfaces that provide active, two-way interaction between the user and the digital environment. Its main goal is not just to display information, but to involve a person in action, to make the interaction process intuitive, emotionally appealing and functionally effective. Interactive design encompasses all aspects that respond to user behavior – buttons, animations, pop-up tools, visual

reactions to clicks, dynamic forms, as well as more complex mechanisms – configurators, filters, switches, interactive diagrams, 3D objects, etc.

One of the key features of interactive design is the presence of feedback. Any action of the user should receive visual or functional confirmation: by clicking a button, he sees its color change, receives a notification about the successful submission of a form, or sees the progress of the task. Such feedback reduces uncertainty and anxiety, increases control over the interface and provides a logical connection between actions and results. It is important that this process occurs without delays, smoothly and predictably.

Interactive design is based on the principles of usability, accessibility, perception psychology, and visual hierarchy. It involves not only a beautiful implementation of the interface, but also a well-thought-out logic of scenarios – what the user does, where he goes next, how quickly he achieves the goal. Effective interactive design helps to avoid errors, simplifies processes, and motivates to act. For example, in a mobile application for food delivery, interactivity is manifested in dynamic lists of products, the ability to customize an order, choose a delivery time, and monitor the courier's movement on the map – and all this happens in a few touches.

Interactive design also takes into account the context of interaction: device type, technical specifications, touch input availability, connection speed, etc. It should be adaptive – and not only in terms of composition, but also in terms of logic: some interactive elements may have a simplified version for mobile devices or be replaced with text analogues for people with special needs.

In short, interaction design is not just a set of effects, but a methodology for creating interfaces that feel alive, flexible, controllable, and action-oriented. It is a discipline that combines aesthetics, engineering, and emotion in a single environment that allows not only viewing information, but also fully interacting with it, creating a new quality of digital experience.

Interactive design continues to evolve as a key component not only of web environments, but also of digital ecosystems in general – mobile applications, interactive panels, virtual and augmented reality. A distinctive feature of modern interactive design is its focus on dialogue between the user and the system. If earlier the web page was static – just a presentation of information, now it reacts, predicts and adapts to the user's actions, creating the illusion of live communication. This is manifested in mechanisms such as adaptive forms

that change fields according to previous answers, or search systems with hints that learn from the history of queries and offer options in real time.

An important aspect of interactive design is emotional engagement, which is achieved through micro-animations, sound effects, dynamic color changes, and smooth transitions between interface states. All of this creates a sense of response and validation that forms an emotional connection with a digital product. For example, when a user presses a button and sees a loading animation or a slight vibration, they feel that the system is working and responding to them. This connection, although invisible at first glance, is extremely important for trust and enjoyment of use.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics. After launching the interface, designers analyze how users interact with elements, where difficulties arise, at what steps they leave the site. This allows not only to improve the logic of interaction, but also to build hypotheses for A/B testing, improve microinteractions, change the structure of scenarios without a complete redesign. This approach brings design closer to a cyclical system, where the interface is not a finished product, but is constantly improved, responding to the behavior of real users.

A separate niche is occupied by interactivity in educational and presentation materials – from interactive courses to webinars and digital instructions. Here, the design should not just attract, but help to assimilate information through action, simulation or visual experiment. For example, the user can independently build a virtual model, go through a simulated process or see the change of parameters in an interactive graph – this contributes to deeper memorization and understanding.

In short, interactive design is not just a reaction to a click, but a holistic system of interaction, where each element is subordinated to the logic of a mutual dialogue with the user. It forms not only a visual environment, but also a behavioral model of a digital platform that responds, supports, helps and, ultimately, forms a high-quality, memorable experience. In the future, interactive design will increasingly take on the features of an intelligent environment that anticipates the user's needs before he has time to act.

Interaction design is also closely related to behavioral analytics, which allows you to study how users interact with interface elements, which areas of the screen they pay attention to, which actions they perform first, where difficulties

or points of churn occur. By analyzing these indicators, designers receive real data for making decisions – what should be changed, simplified or strengthened in the interaction. Behavioral analytics is usually based on heat maps of clicks, tracking mouse movement, scroll depth, the number of interactions with certain elements, as well as the time spent on performing certain actions. Tools such as Hotjar, Microsoft Clarity, Google Analytics or Yandex Metrica allow you to visualize this data and identify which parts of the site work effectively and which go unnoticed.

Interactive design, formed without the participation of analytics, risks remaining only visually attractive, but non-functional. Therefore, the modern approach involves iterative work: after deploying the interface in a real environment, behavioral data is collected, hypotheses are tested on their basis (for example, that changing the color of a button or the location of a form will reduce the bounce rate), and changes are made according to the results. Such a cycle allows you to gradually improve the site without a complete redesign, while maintaining the consistency of style and user logic. In the context of interaction with the interface, analytics helps not only to improve the visual part, but also to understand the motivation, behavioral patterns and expectations of the target audience more deeply. As a result, interactive design and behavioral analytics form a single system where design is not dictated by assumptions, but is created and improved based on actual user experience.

The optimal combination of elements in web design means a harmonious combination of all visual and functional components of the page, which ensures convenience, aesthetic appeal and efficiency of interaction with the user. The basis for this is a clear visual hierarchy, which allows the user to quickly navigate the page, find the main elements of the interface and understand the logic of transitions. An important role is played by the unity of style, which includes the use of a consistent color scheme, fonts, icons and compositional solutions, which ensures the integrity of the perception of the interface. Contrast and color harmony allow you to highlight key areas of attention and ensure accessibility for people with different visual impairments. Simplicity and minimalism reduce cognitive load, increase the clarity of the interface and contribute to the rapid execution of actions. Functional content is also important: each element should be logically justified, accessible and have clear feedback, for example, through animation or a change in

state upon hover. Responsive web design allows you to maintain usability regardless of the device, ensuring comfort on both mobile phones and large screens. Compositional balance is achieved through alignment, the use of a grid, principles of symmetry or the golden ratio, which contributes to the harmonious perception of the page. Animation and micro-interactions add dynamism, improve user interaction and enhance intuitive understanding of functionality. Taken together, all these aspects form a holistic, effective and emotionally attractive digital interaction that meets user expectations and the requirements of the modern web environment.

In the context of modern web design trends, it is also important to consider personalization and contextual adaptation of the interface – this means that design elements can change depending on the preferences, behavior or even geolocation of the user. This approach allows you to create a more individual experience and improve interaction with the product. In addition, analytics play a significant role: collecting data on clicks, mouse movements, scrolling depth and other indicators allows you to identify design weaknesses and optimize the placement of elements. Successful interfaces are built on the basis of testing: A/B tests, usability studies, focus groups help to test hypotheses about the effectiveness of individual components. All this forms an iterative approach to design, when the product is constantly improved based on feedback. In addition, new technologies, including WebGL, CSS animation, SVG and 3D visualization, open up new opportunities for interactive and visually complex solutions without a significant load on performance. An important aspect is accessibility: elements should be convenient for users with visual, motor or cognitive disabilities, which is achieved through the correct use of colors, alternative text, logical structure and keyboard navigation. Ultimately, the optimal combination of elements in web design is the result of a delicate balance between aesthetics, functionality, technological capabilities and user behavioral expectations, which ensures not only a good impression, but also the achievement of specific product goals: increasing conversions, attracting an audience, retaining attention and building trust.

The use of voice interfaces in web design is one of the most promising areas of development of modern digital interfaces, combining convenience, accessibility and innovation. Voice interaction allows users to control web resources without physical contact with the interface – using natural

language. This opens up new opportunities, especially for people with visual impairments, motor skills or in cases where using a keyboard or mouse is impossible or inconvenient. Thanks to the rapid development of speech recognition, web applications can effectively identify user commands, adapt content, perform navigation, fill out forms or even conduct a dialogue in real time. Such interaction increases the level of personalization, reduces barriers to using complex systems and at the same time speeds up access to information.

From the technical side, the implementation of voice interfaces in web design is based on the use of web APIs, such as the Web Speech API, which includes speech recognition and speech synthesis modules. This allows you to integrate voice control without the need to install additional software. For example, a user can say “open news” – and the page will automatically redirect him to the appropriate section. In addition, the voice interface can accompany visual interaction, duplicating text messages with synthesized speech, which is especially useful for navigation systems, educational resources or services for older users.

Modern type design in web development is a crucial component that goes beyond aesthetic appeal and plays a fundamental role in communication, brand identity, user experience, and readability across devices. It reflects a careful balance between tradition and innovation, merging classical typographic principles with minimalist visual trends. Today’s web typography is driven by clarity, flexibility, and performance. Designers increasingly favor sans-serif fonts with geometric or humanist characteristics due to their clean appearance and high legibility on screens. Variable fonts are also gaining popularity, allowing a single font file to support multiple styles and weights dynamically, which not only enhances visual consistency but also improves loading speed and performance.

Another defining feature of contemporary type design is adaptability—fonts are selected or created to perform equally well on large desktop displays and small mobile screens, ensuring readability in diverse viewing conditions. Web designers now emphasize open letterforms, balanced spacing, and sufficient contrast to maintain accessibility and visual comfort. Globalization and cultural inclusivity have also influenced type design, prompting the development of multilingual typefaces that support various scripts such as

Latin, Cyrillic, Arabic, and CJK characters, all harmonized within the same design system.

Typography is increasingly used as a central visual element rather than a passive text container. Headlines, hero sections, and brand names often rely on distinctive, custom or modified fonts that become part of the site's visual identity, sometimes even replacing traditional images as the focal point. From a technical perspective, modern font formats like WOFF2 and the adoption of responsive CSS properties help optimize performance while maintaining high visual fidelity. Designers must also consider fallback systems, font loading strategies, and ethical use of licensed typefaces.

Ultimately, modern web type design is not just about choosing a font—it is about crafting a typographic environment that guides the user, evokes emotion, enhances accessibility, and aligns with the narrative and functional goals of the digital product. It represents a multidisciplinary synthesis of visual communication, technical efficiency, and user-centered design.

In addition to aesthetic and functional roles, modern web typography increasingly serves as a medium of storytelling and emotional resonance. Designers use typography not only to convey information but also to shape tone, mood, and brand personality. A bold, condensed typeface might communicate urgency and power, while a light, elegant serif can suggest sophistication and calm. This expressive capacity of type plays a significant role in shaping first impressions and establishing trust with users in the first few seconds of interaction.

Technological advancements have expanded the designer's toolkit, allowing for dynamic and interactive typographic experiences. Animations, transitions, and responsive behaviors applied to text elements can guide the user's attention, indicate hierarchy, or subtly enhance usability. For example, animated letter spacing or fade-in effects can provide feedback or visual interest without overwhelming the content. These enhancements must be handled with care to avoid performance issues or visual clutter, particularly on low-powered or mobile devices.

Typography also intersects with accessibility standards, making inclusive design a top priority. Designers must ensure sufficient contrast between text and background, readable font sizes, scalable units, and screen reader compatibility. Typography in web design must accommodate users with visual impairments,

dyslexia, or cognitive limitations, requiring thoughtful choices in font shape, spacing, and alignment. These considerations are no longer optional but essential to responsible and ethical design.

Moreover, the integration of custom fonts and branding elements through type is becoming more seamless. Many companies invest in proprietary typefaces that reinforce their identity across all platforms, from websites to mobile apps and printed materials. These fonts are carefully crafted to remain consistent, scalable, and performant in diverse environments. As brand consistency becomes more important in a crowded digital landscape, typography serves as a unifying visual thread.

In essence, modern type design in web development is an evolving discipline that blends visual art, user psychology, and digital engineering. It demands a deep understanding of how users read and perceive information online, as well as how text behaves across technologies and cultural contexts. Effective typography elevates content, enhances usability, and builds emotional connections, making it a cornerstone of high-quality web design in the contemporary digital age.

Adaptation of web design to hardware capabilities is a fundamental aspect of modern interface development, ensuring that content is displayed correctly, quickly, and comfortably across a wide range of devices. This involves not only adjusting to screen sizes—such as desktop, tablet, or smartphone—but also considering processor performance, graphics acceleration, memory capacity, pixel density, power consumption, input methods, and network speed.

Modern adaptive design uses CSS media queries to modify the size, layout, visibility, and behavior of elements based on device characteristics. However, true hardware adaptation goes beyond screen width. For devices with limited processing power, it is essential to reduce or disable complex animations, large image assets, or resource-heavy scripts, replacing them with lightweight alternatives to maintain smooth user experience even on older or low-end hardware.

Pixel density (DPI or PPI) also plays a critical role. High-resolution displays such as Retina or OLED require vector graphics (e.g., SVG), crisp font rendering, and high-quality image formats like WebP or AVIF. To avoid performance bottlenecks, techniques like lazy loading are implemented, allowing media content to load only when it becomes visible. Additionally, hardware acceleration

via CSS and WebGL offloads rendering tasks to the GPU, freeing up the CPU and improving responsiveness.

Input methods must also be considered: touchscreens require larger tap areas and gesture support, while traditional interfaces rely on precise cursor control. Accessibility features include keyboard navigation, screen reader compatibility, and support for voice commands to ensure usability across different hardware setups and user needs.

Power efficiency is another vital factor. Many mobile browsers operate in battery-saving modes, so websites should be capable of disabling energy-intensive features when needed. Using APIs like `prefers-reduced-motion` allows designers to detect user preferences and adjust animations and transitions accordingly to reduce energy usage or visual overload.

In essence, adapting web design to hardware is not just about responsive layout—it's about comprehensive optimization that respects device limitations, enhances performance, and ensures inclusivity. This holistic approach leads to fast, stable, and accessible web experiences regardless of the hardware environment or usage context.

Web design has evolved from static page layouts to dynamic, interactive, and user-centered experiences. Modern trends emphasize accessibility, responsiveness, and performance optimization across diverse devices and hardware capabilities. Designers now integrate technologies like voice interfaces, adaptive typography, and motion design to enhance usability and engagement. Ethical design practices and inclusivity have become essential, reflecting a shift toward human-centric digital environments. Overall, web design continues to merge visual creativity with technological innovation to meet the growing demands of users and platforms.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-30-94

ВОРОНКОВА Валентина Григорівна,

д-р філос. наук, професор,
академік ГО «НАН ВО України»,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-0719-1546

МЕТЕЛЕНКО Наталя Георгіївна,

д-р екон. наук, професор, директор,
академік АЕН України,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-6757-3124

НІКІТЕНКО Віталіна Олександрівна,

д-р філос. наук, професор,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету, м. Запоріжжя
ORCID ID: 0000-0001-9588-7836

АЖАЖА Марина Андріївна,

д-р наук держ. управління, професор,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0003-3549-7718

ВЕНГЕР Ольга Миколаївна,

канд. політ. наук, доцент,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-3758-7891

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЧИННИК СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ, ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

У сучасних умовах стрімкої цифровізації та загострення глобальних екологічних проблем, цифрові технології набувають критичного значення для забезпечення сталого розвитку, екологічної безпеки та ефективного

управління природними ресурсами. Глобальні виклики, такі як зміна клімату, зниження біорізноманіття, деградація довкілля, вимагають нових підходів до управління екологічною сферою. Цифрові інструменти – від великих даних (Big Data), Інтернету речей (IoT) до штучного інтелекту та блокчейн-технологій – сприяють оптимізації процесів моніторингу довкілля, прогнозуванню ризиків та прийняттю управлінських рішень на основі точних аналітичних даних. Вони дозволяють формувати нову модель зеленої економіки, яка поєднує інноваційність, ресурсоефективність і соціальну відповідальність¹.

Тема є особливо актуальною для країн, які прагнуть інтегруватися в глобальні екологічні процеси, зменшити технологічне відставання та адаптуватися до викликів сталого розвитку. Впровадження цифрових технологій у сферу екологічного менеджменту є стратегічним напрямом модернізації економіки, що відповідає цілям сталого розвитку ООН. Актуальність теми «зелена цифрова трансформація» в Україні зумовлена необхідністю одночасного впровадження екологічно сталих та цифрових інновацій для забезпечення сталого розвитку, економічного зростання та євроінтеграції. В умовах повномасштабної війни та подальшого відновлення України, зелена цифрова трансформація стає ключовим напрямом модернізації економіки. Європейський зелений курс передбачає синхронний екологічний та цифровий перехід (twin transition), що є важливою складовою євроінтеграції України. Це включає впровадження цифрових рішень для підтримки декарбонізації, зменшення викидів парникових газів та розвитку розумної інфраструктури зеленої цифрової трансформації як драйвера сталого розвитку регіонів України у повоєнному відновленні².

Мета полягає в дослідженні ролі цифрових технологій у забезпеченні екологічної безпеки та трансформації зеленої економіки в умовах глобальних екологічних викликів. Мета дослідження полягає у тому, щоб визначити потенціал цифровізації як інструменту для досягнення сталого розвитку, гармонії між людиною та природою, а також забезпечен-

1 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г., Оглобліна В. О. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. Educational discourse : collection of scientific papers / Chief Editor O. P. Kyvliuk, D. B. Svyrydenko – Kyiv : LLC "Scientific Information Agency "Science-technologies-information", 2025. Volume 52(1-2). С. 22-30. DOI: [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.52\(1-2\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.52(1-2)-3).

2 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>.

ня ефективного використання природних ресурсів. Основною метою є аналіз того, як сучасні цифрові технології, зокрема Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані (Big Data), блокчейн та інші інновації, можуть бути інтегровані у стратегії сталого розвитку для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Розвідка орієнтована на формування нової парадигми екологічної свідомості через цифрові інструменти, сприяючи подоланню кризи метафізичних засад людського буття та вирішення проблем екологічного менеджменту та екологічної безпеки³.

Однією з ключових задач дослідження є вивчення впливу цифрових технологій на моніторинг та управління екосистемами, зокрема через збори та аналіз даних у реальному часі для оптимізації ресурсів, зниження викидів парникових газів, управління водними та енергетичними ресурсами. Важливим аспектом є також інтеграція технологій для розвитку відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової енергії, а також для запровадження технологій для зниження енергетичних витрат у промисловості та побуті. Проєкт має на меті також дослідження соціальних та етичних аспектів цифровізації в контексті сталого розвитку. Це включає вивчення потенціалу цифрових технологій для зміни суспільної свідомості, розвитку нових екологічних норм та принципів, а також створення механізмів для підвищення цифрової грамотності населення у питаннях екологічної відповідальності. Необхідно сприяти формуванню нового бачення розвитку економіки та суспільства через призму цифрових технологій, які є ефективними інструментами для збереження природних ресурсів, підвищення екологічної свідомості та забезпечення сталого розвитку в умовах еволюції цифрових технологій промислової революції від 4G до 5G у контексті викликів цифрової глобалізації⁴.

Основні завдання полягають у створенні теоретичних і практичних основ для використання цифрових технологій у контексті екологічної безпеки

3 Nikitenko, Vitalina A., Voronkova, Valentyna H., Andriukaitiene, Regina, Oleksenko Roman I. The crisis of the metaphysical foundations of human existence as a global problem of post-modernity and the ways of managerial solutions. *Propósitos y Representaciones* Jan. 2021, Vol. 9, SPE (1), e928 ISSN 2307-7999 Special Number: Educational practices and teacher training e-ISSN 2310-4635. URL : <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/pyr/article/view/928>.

4 Voronkova, Valentyna, Nikitenko, Vitalina, Oleksenko, Roman, Andriukaitiene, Regina, Kharchenko, Julia, Kliuienko, Eduard. Digital technology evolution of the industrial revolution from 4G to 5G in the context of the challenges of digital globalization. *TEM Journal*. Volume 12, Issue 2, pages 732-742, ISSN 2217-8309, May 2023. URL : https://www.temjournal.com/content/122/TEMJournalMay2023_732_742.pdf.

та розвитку зеленої економіки, що є важливим етапом у формуванні нової парадигми сталого розвитку суспільства та гармонії людини з природою⁵.

1. Розробка концептуальної моделі цифровізації для сталого розвитку, що включає визначення ключових компонентів і процесів, де цифрові технології можуть бути застосовані для забезпечення екологічної безпеки та підтримки зеленої економіки; розробка теоретичних підходів до інтеграції цифрових технологій у стратегії сталого розвитку на рівні держави, підприємств і громадян.
2. Аналіз потенціалу цифрових технологій у забезпеченні екологічної безпеки, що включає вивчення сучасних цифрових технологій (штучний інтелект, Інтернет речей, великі дані, блокчейн та інші) для моніторингу екологічної ситуації, зокрема забруднення, зміни клімату та збереження біорізноманіття; оцінка можливостей цифрових технологій для управління природними ресурсами, зокрема водними, енергетичними та біологічними ресурсами⁶.
3. Розробка цифрових інструментів для моніторингу і управління екосистемами, що включає створення рекомендацій щодо використання IoT, сенсорних мереж і інших цифрових технологій для збору та аналізу екологічних даних у реальному часі; розробка платформ для збирання, зберігання та обробки даних про стан навколишнього середовища, що сприятимуть прийняттю обґрунтованих рішень у сфері екологічної безпеки.
4. Формулювання стратегій і політик щодо інтеграції цифрових рішень у зелений бізнес, націлених на розробку політичних рекомендацій щодо впровадження цифрових технологій у сферу енергетики, сільськогосподарства, транспорту та виробництва для сприяння сталому розвитку та зменшенню екологічного сліду; визначення умов, за яких цифрові інструменти можуть забезпечити економічну вигоду і одночасно підтримати принципи сталого розвитку⁷.

5 Теоретико-методичні основи забезпечення соціально-економічної безпеки економіки України в умовах діджиталізації бізнес-процесів : колективна монографія / А. В. Череп, В. Г. Воронкова, І. М. Дашко, Ю. О. Огренич, О. Г. Череп. Львів–Торунь : Liha-Pres, 2024. 202 с. ISBN 978-966-397-424-8. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-424-8>.

6 Венгер О., Венгер В., Холодулін А. Методи кар'єрного розвитку співробітників у системі управління персоналом на промисловому підприємстві в умовах сучасних викликів. Humanities studies: Collection of Scientific Papers / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», 2024. 21 (98). P. 202–212. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2024-21-98-24>.

7 Воронкова В. Г. Ніколаєнко Є. А. Цифрова трансформація підприємств як стратегічний інструмент сталого розвитку та економічної стабільності в умовах війни та післявоєнного відновлення. Цифрова економіка та економічна безпека. Одеса: Причорноморський науково-дослідний інститут економіки та інновацій. 2025. Вип. С. 9-17. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.16-2>

5. Створення практичних інструментів для підприємств і громад, в основі яких розробка цифрових рішень для малих та середніх підприємств з метою оптимізації використання ресурсів, підвищення енергоефективності та зменшення викидів; створення інструментів для підвищення екологічної свідомості населення і стимулювання сталих моделей споживання та виробництва.
6. Моделювання сценаріїв розвитку зеленої економіки з використанням цифрових технологій, що включає оцінку економічних і екологічних результатів впровадження цифрових технологій у різних секторах економіки через моделювання; прогнозування довгострокових ефектів від використання цифрових інновацій у розвитку зеленої економіки та аналіз можливих ризиків⁸.
7. Оцінка соціальних та етичних аспектів цифрової трансформації, в основі якої аналіз соціальних наслідків впровадження цифрових технологій, зокрема в контексті доступу до технологій, економічної нерівності та екологічної відповідальності; визначення етичних принципів, що повинні регулювати застосування цифрових рішень для сталого розвитку, щоб забезпечити їх позитивний вплив на суспільство⁹.
8. Розробка методології для оцінки ефективності цифрових технологій у забезпеченні сталого розвитку, що включає створення критеріїв та індикаторів для оцінки ефективності впровадження цифрових рішень у контексті екологічної безпеки та зеленої економіки; розробку механізмів для моніторингу й оцінки впливу цифровізації на досягнення цілей сталого розвитку на локальному та глобальному рівнях.
9. Міжнародна співпраця та обмін досвідом у сфері цифрових інновацій для сталого розвитку, що включає участь у міжнародних ініціативах, спрямованих на боротьбу з глобальними екологічними викликами через використання цифрових технологій; обмін досвідом між країнами та створення спільних цифрових платформ для моніторингу глобальних екологічних проблем та управління сталим розвитком.

8 Voronkova Valentina, Nikitenko Vitalina, Metelenko Natalya. AGILE-economy as a factor in improving the digital society. *Baltic Journal of Economic Studies*, Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2022, Vol.8. No 2. P. 51-58. DOI:<https://doi.org/10.30525/2256-0742/2022-8-2-51-58> URL : <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue/issue/view/113>.

9 Слюсарь М. Інтернет як глобальний альянс цифрових мереж та забезпечення їх взаємодії. *Managerial, social and technological innovations – the basis of the public good* = Vadybinės, socialinės ir technologinės inovacijos – visuomenės gerovės pagrindas : tarptautinės mokslinės – praktinės konferencijos tezių rinkinys. Lithuania Marijampolė, Marijampolės kolegija, 2023. C. 76-77. URL : [//marko.lt/wp-content/uploads/2023/09/Tesis-book_Marijampole_2023_pdf.pdf](http://marko.lt/wp-content/uploads/2023/09/Tesis-book_Marijampole_2023_pdf.pdf)

Рішення цих завдань сприятиме формуванню цілісного підходу до інтеграції цифрових технологій у стратегії сталого розвитку, що допоможе забезпечити гармонійне співіснування людини з природою в умовах глобальних викликів.

У сучасному світі екологічна безпека та сталий розвиток стали одними з найважливіших напрямів глобальної політики та економічної стратегії. Оскільки масштаби екологічних загроз, зокрема зміни клімату, виснаження природних ресурсів та забруднення навколишнього середовища, досягли критичних рівнів, пошук інноваційних шляхів для збереження природи та забезпечення сталого розвитку став необхідністю для всіх країн світу¹⁰.

В цьому контексті цифровізація виступає потужним інструментом, який здатен допомогти у трансформації традиційних підходів до управління природними ресурсами, екологічними процесами та економічними моделями на основі інноваційних цифрових технологій. Цифрові технології, зокрема Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), штучний інтелект (AI), блокчейн та інші, відкривають нові можливості для збору, аналізу та управління інформацією в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на екологічні зміни, знижувати вплив людської діяльності на навколишнє середовище та реалізовувати стратегії сталого розвитку. Такі технології забезпечують точне прогнозування, моніторинг стану екосистем, ефективне використання природних ресурсів, зниження енергетичних витрат та викидів вуглецю, а також дозволяють формувати нові моделі «зеленого» бізнесу¹¹.

Цифровізація здатна значно змінити структуру економіки, перетворюючи її на зелену, що базується на принципах ефективного використання ресурсів, мінімізації відходів та збереження біорізноманіття. Зелена економіка як модель сталого розвитку акцентує увагу на забезпеченні гармонії між економічним зростанням та екологічною безпекою. Цифрові технології відіграють ключову роль у реалізації цієї моделі, сприяючи переходу до безвідходного виробництва, розвитку відновлю-

10 Cherep A., Voronkova V., Venherska N. (2023). European Practices of Rural Green Tourism: Challenges and Prospects. *Baltic Journal of Economic Studies*, 9(5), 2023. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023, P. 275-282. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue>.

11 Voronkova, V., Nikitenko, V., Oleksenko, R., Andriukaitiene, R., Polysaiev, O. (2023). Environmental crisis overcoming as a factor for achieving economic sustainability in the context of the European green course. *Cuestiones Políticas*, 41(77), 612-629. DOI: <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4177.41>.

вальних джерел енергії, оптимізації використання природних ресурсів та зниженню впливу на навколишнє середовище.

Філософія цифровізації у контексті екологічної безпеки також передбачає трансформацію соціальних, культурних та економічних взаємодій в умовах глобальних викликів. Вона акцентує увагу на важливості взаємодії людини з природою через призму цифрових технологій, які допомагають сформувати нову парадигму сталого розвитку, що враховує не лише економічні, але й екологічні та соціальні аспекти. Цифрові технології створюють нові можливості для розвитку екологічної свідомості та сталих практик у суспільстві, зокрема через популяризацію «зелених» інновацій, навчання громадян та підприємств принципам екологічної відповідальності та розвитку. Крім того, цифровізація надає інструменти для розширення можливостей моніторингу та контролю за екологічним станом планети. За допомогою датчиків і сенсорних технологій стає можливим здійснювати безперервний моніторинг якості води, повітря, ґрунту, стану лісів та океанів, що дозволяє своєчасно виявляти проблеми та запобігати катастрофічним наслідкам¹².

Окрім того, великі дані та штучний інтелект допомагають обробляти величезні обсяги інформації та робити точні прогнози щодо змін у навколишньому середовищі, що в свою чергу дозволяє більш ефективно планувати стратегії боротьби з глобальними екологічними загрозами. Проте, незважаючи на величезний потенціал цифрових технологій для забезпечення екологічної безпеки, важливо також враховувати етичні та соціальні виклики, пов'язані з їх впровадженням¹³. Зокрема, потрібно зберігати баланс між технологічним прогресом і збереженням природних ресурсів, враховуючи можливі ризики, які можуть виникнути через надмірну залежність від технологій та цифрової інфраструктури. У той же час, важливо не забувати про необхідність розвитку цифрової грамотності в суспільстві, щоб люди могли ефективно використовувати нові технології в екологічно відповідальний спосіб. Цифровізація є потужним інструментом для забез-

12 Metelenko, N., Nikitenko, V., & Meniailo, V. (2024). Development of the smart economy as the main source of competitiveness and sustainable development. *Baltic Journal of Economic Studies*, 10(2), 187-195. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-2-187-195>.

13 Voronkova v., Vitalina Nikitenko v., Sobo Y, Oleksenko R., Zelenin Y., Kravchenko O., Levchenko L., Yukhymenko N. (2024). The Digital Transformation Of The Most Dynamic Region In The World (China, Malaysia, India) As A Key Factor In Economic Development Within The Context Of INDUSTRY 5G: Trends, Challenges, And Strategies. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* (2024), 22(1): 1522-1531 E-ISSN: 2221-7630; P-ISSN: 1727-4915, Pp.1522-1531. URL: https://pjlss.edu.pk/articles/2024_1/1522-1531.htm.

печення екологічної безпеки та трансформації зеленої економіки в умовах глобальних викликів. Вона дозволяє інтегрувати інноваційні технології у різні сфери економіки, суспільства та екології, створюючи нові можливості для збереження природи та сталого розвитку. Формування нової парадигми сталого розвитку через призму цифрових технологій може стати ключем до вирішення сучасних екологічних проблем та забезпечення гармонії між людиною і природою.

Зарубіжні автори, які працюють над темою синергії зеленої та цифрової трансформації: 1) Клаус Шваб (Klaus Schwab) – засновник Світового економічного форуму, автор книги «Четверта промислова революція», у якій він досліджує інтеграцію цифрових технологій у всі сфери економіки, зокрема в контексті сталого розвитку¹⁴. 2) Грета Тунберг (Greta Thunberg) – активістка, що має значний вплив на глобальні екологічні та цифрові ініціативи через свою активність, активно підтримує синергію між сталим розвитком та цифровими технологіями. 3) Річард Хаас (Richard Haass) – президент Ради з міжнародних відносин (CFR), аналізує трансформаційні процеси, що включають глобалізацію та стійкий розвиток через цифрові технології. 4) Джон Р. Пірс (John R. Pierce) – дослідник і інженер, який працює в галузі цифрових технологій і стійкого розвитку, зокрема в контексті екологічних інновацій через цифрові інструменти¹⁵. 5) Філіпп Грін (Philip Green) – професор, який досліджує зв'язок між цифровими технологіями та сталим розвитком у бізнесі, а також способи інтеграції технологій у розбудову «зеленої» економіки. Їх роботи можуть бути корисними при дослідженні взаємодії цифрових та екологічних трансформацій в умовах глобалізації¹⁶.

Цифрова трансформація регіонів України є необхідною для підвищення конкурентоспроможності та стійкості. Водночас, зелена трансформація регіонів менш пріоритетна, що вимагає створення спеціальних регіональ-

14 Венгер О., Фурсін О. Городецькова М. Управління кадровим потенціалом як чинник сталого розвитку суб'єктів господарювання. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers* / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia : Publishing house "Helvetica", 2024. 19 (96). P. 158–167. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2024-19-96-18>.

15 Крупа А. (2023). Штучний інтелект як чинник розвитку цифрової економіки. Інноваційні засади цифрової трансформації управлінської діяльності. *Managerial, social and technological innovations – the basis of the public good = Vadybinės, socialinės ir technologinės inovacijos – visuomenės gerovės pagrindas : tarptautinės mokslinės – praktinės konferencijos tezių rinkinys. Lithuania Marijampolė, Marijampolės kolegija. C.41-42.* URL: https://marko.lt/wp-content/uploads/2023/09/Tesis-book_Marijampole_2023_pdf.pdf.

16 Krupa A., Nikitenko V, Voronkova V.(2024). The Role of Digital Technologies in Addressing Today's Global Challenges. (Роль цифрових технологій у вирішенні сучасних глобальних викликів). *Baltic Journal of Economic Studies*, 10(3), 193-200, URL: <https://mail.google.com/mail/u/0/?ogbl#inbox/FMfcgzQXJGnxrKSJhPbRprJSITQrmhS?projector=1&mes sagePartId=0.1>.

них програм зеленої трансформації та адаптації стратегій регіонального розвитку до світових тенденцій. Розвиток сектору інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) є критично важливим для реалізації зеленої цифрової трансформації. Це включає забезпечення доступності цифрових технологій, розвиток цифрових навичок населення та впровадження енергоефективних рішень у різних секторах економіки. Зелена цифрова трансформація сприяє впровадженню інноваційних рішень для досягнення кліматичної нейтральності. Це включає розвиток циркулярної економіки, впровадження екологічно чистих технологій та створення нових моделей економічного розвитку, що поєднують цифровізацію та екологічну стійкість. Цифрова трансформація економіки України в умовах війни сприяє підвищенню стійкості та безпеки. Впровадження цифрових технологій дозволяє створювати високоточні моделі для управління ресурсами, моніторингу екосистем та забезпечення кібербезпеки, що є критично важливими в умовах сучасних викликів¹⁷.

Таким чином, зелена цифрова трансформація є стратегічно важливою для України, оскільки сприяє сталому розвитку, економічному зростанню, підвищенню стійкості та інтеграції до європейського простору. Обговорення цієї теми зосереджено на необхідності інтеграції екологічних та цифрових стратегій для досягнення сталого розвитку в умовах четвертої промислової революції.

Умови глобалізації, соціальних змін та поствоєнної трансформації описують конкретний контекст, в якому відбувається реалізація процесів, зокрема, зеленої цифрової трансформації. Глобалізація – це процес, при якому відбувається інтеграція національних економік, культур, суспільств, технологій і політичних систем у глобальну мережу¹⁸. Це має низку наслідків – економічна взаємозалежність, технологічні новації, культурні взаємодії. Країни стають більше взаємозалежними через міжнародну торгівлю, інвестиції та інші економічні процеси. Поширення нових технологій на глобальному рівні сприяє їхньому швидкому впровадженню в різних

17 Cherep A., Voronkova V., Cherep O., Tomareva-Patlahova 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.

18 Воронкова В., Череп А., Нікітенко В., Череп О. Вплив цифрових технологій на циркулярну економіку як чинник сталого процвітання та екобалансованого розвитку. *Laisvalaikio tyrimai: elektroninis mokslo žurnalas*, 2024. *Laisvalaikio tyrimai: elektroninis mokslo žurnalas*, eISSN 2345-0339. C.15-23. URL: <https://journals.lsu.lt/laisvalaikio-tyrimai/article/view/1227/997>.

країнах, що створює можливості для інновацій, зокрема в галузі екології та цифрових технологій. Обмін ідеями, знаннями та культурами, що може впливати на стратегії сталого розвитку та використання цифрових технологій для екологічних цілей. У рамках глобалізації зростає потреба в адаптації екологічних і цифрових рішень до глобальних викликів, таких як зміна клімату, енергетичні кризи та інші проблеми, що мають глобальний характер.

Соціальні зміни – це зміни в структурах і відносинах у суспільстві, які відбуваються внаслідок різних чинників, таких як технологічний розвиток, культурні трансформації або політичні реформи. У контексті зеленої цифрової трансформації це може включати зміни в поведінці споживачів, так як все більше людей стають більш свідомими щодо екологічних питань і впливу своїх рішень на навколишнє середовище. Це впливає на попит на сталий продукт та використання технологій, що підтримують екологічну стійкість¹⁹.

Проблеми соціальної справедливості, що включають врахування соціальних аспектів у процесах екологічної трансформації. Наприклад, доступ до зелених технологій для вразливих груп населення, забезпечення справедливості у використанні природних ресурсів та рівний доступ до цифрових рішень. Політичні зміни, в основі яких перехід від традиційних до більш інклюзивних політик, орієнтованих на стійкий розвиток, які також включають цифрові інструменти для екологічного моніторингу та управління. Соціальні зміни створюють передумови для підтримки інноваційних, екологічно орієнтованих рішень і стимулюють розвиток політик, які допомагають інтегрувати цифрові технології в екологічні ініціативи²⁰.

Умови поствоєнної трансформації включають процес відновлення та реконструкції після війни, коли країна та регіони переживають важкий період відновлення і реабілітації. Фізичне відновлення, що включає відбудову інфраструктури, зокрема енергетичних систем, транспортної

19 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г., Нікітенко В. О. Штучний інтелект як інструмент забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку. Ukrainian science and education in the conditions of European integration : collective monograph / . S Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov herman Oaks, California : GS Publishing Services, 2024. С. 39-54. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9895-14670-2024-020>.

20 Ажажа М. А., Венгер О. М., Фурсін О. О. Digital-маркетинг: тренди штучного інтелекту та машинного навчання. Менеджмент та маркетинг як фактори розвитку бізнесу : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції 17-19 квітня 2024 р. Електронне видання у 2 т. / відп. ред. та упоряд. В. В. Храпкіна, К. В. Пічик. Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2024. Т. 2. С. 178-182; URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44750/1/TEZY.pdf>.

мережі, водопостачання та санітарії, що може включати зелені та цифрові рішення для більш ефективного та сталого відновлення²¹. Реабілітація суспільства після травм війни може включати соціальні програми та технології для підтримки миру, освіти та розвитку; відновлення економіки, що відбувається шляхом створення нових секторів, таких як зелена економіка та інноваційні цифрові технології, що можуть бути використані для підвищення продуктивності та стійкості економіки. В умовах поствоєнної трансформації важливим аспектом є перехід від відновлення до сталого розвитку, включаючи цифрову та зелену трансформацію для забезпечення довгострокової стабільності.

Усі ці умови – глобалізація, соціальні зміни та поствоєнна трансформація – взаємодіють і впливають на процеси зеленого цифрового розвитку. Глобалізація надає можливості для технологічних і культурних змін, соціальні зміни стимулюють попит на стійкі практики, а поствоєнні трансформації створюють умови для перезавантаження економік з використанням зелених і цифрових технологій. Всі ці чинники сприяють інтеграції інновацій в управління природними ресурсами та соціально-економічний розвиток²².

Отже, зелена цифрова трансформація може стати основою для відбудови економіки, забезпечуючи її стійкість та конкурентоспроможність. Виконання вимог Європейського зеленого курсу та цифрової стратегії ЄС є ключовими умовами для набуття членства в ЄС. Інвестиції в цифрові та зелені технології сприяють створенню нових робочих місць та розвитку інноваційних секторів. Зменшення залежності від викопного палива та впровадження екологічно чистих технологій покращують якість життя та здоров'я населення.

Приклади реалізації в Україні: 1) Запуск 94 проектів цифрової трансформації у сферах освіти, охорони здоров'я, юстиції, економіки та торгівлі, енергетики, інфраструктури тощо. 2) Розробка концептуального підходу до сталої диджиталізації як основної рушійної сили зеленого

21 Ажажа М. А., Нікітенко В. О., Венгер О. М., Фурсін О. О. Зелені технології та стратегії сталого розвитку як чинники забезпечення безпеки громадян та збереження навколишнього середовища. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2024. С. 11-16; URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyyj-4.pdf.

22 Cherep A.V., Voronkova V.H. Bekhter L.A., Cherep O.H., Lyshchenko E.G. (2023). Minimization of information security risks amid the challenges of digital society (Мінімізація ризиків інформаційної безпеки в умовах викликів цифрового суспільства). Artificial intelligence: an era of new threats or opportunities? monograph. Edited by Irina Tatomyr, Liubov Kvasnii. Praha: Oktan print. P. 190-201. DOI: <https://doi.org/10.46489/aiaeont-23-23>.

цифрового переходу на шляху до кліматичної нейтральності світової економіки. 3) Стратегічне спрямування розвитку економіки регіонів України на зелену та цифрову трансформацію, зокрема в умовах війни та повоєнного відновлення. Зелена цифрова трансформація є не лише викликом, але й можливістю для України побудувати сучасну, стійку та конкурентоспроможну економіку²³. Інтеграція цифрових технологій з екологічними принципами сприятиме досягненню цілей сталого розвитку та успішній інтеграції до європейського простору. Зелена цифрова трансформація – це стратегічний процес інтеграції цифрових технологій з екологічними цілями, спрямований на досягнення сталого розвитку, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення ефективності економіки. Згідно з дослідженням, зелена цифрова трансформація економіки – це унікальний системний процес симбіозу зеленого та цифрового курсу розвитку економіки країни, який спрямований на впровадження інноваційних технологій для забезпечення екологічної стійкості та економічного зростання²⁴.

У міжнародному контексті, зелена цифрова трансформація означає використання цифрових інструментів для досягнення екологічної стійкості та збереження екологічного балансу, що включає зменшення викидів парникових газів, оптимізацію використання ресурсів та підтримку циркулярної економіки.

Основні компоненти: 1) цифрові технології: використання штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT), великих даних та інших інновацій для моніторингу та оптимізації екологічних процесів. 2) Екологічна стійкість, в основі якої зменшення викидів, впровадження енергоефективних рішень, розвиток відновлюваних джерел енергії та підтримка біорізноманіття. 3) Сталий розвиток, націлений на забезпечення економічного зростання без шкоди для довкілля та майбутніх поколінь,- відмічають В.Воронкова, В.Нікітенко²⁵.

23 Цифрова трансформація промислового менеджменту: теорія і практика: монографія / За ред. д.філософ.н., проф. Воронкової В. Г., д.е.н., проф. Метеленко Н.Г. Львів-Торунь: Liha-Pres, 2023. 816 с. ISBN 978-966-397-319-7. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/225>.

24 Кивлюк О. П., Воронкова В. Г. Філософська рефлексія інформаційної безпеки у цифровому середовищі: проблеми, ризики, правове забезпечення. "Innovative resources of modern science": collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2022. P. 160-172. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono9/Monograph_9-160-172.pdf.

25 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О. Філософія цифрової людини і цифрового суспільства: теорія і практика: монографія. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2022. 460 с. URL: <https://oldis.lus.uahttp172.pdf>.

Для України зелена цифрова трансформація є особливо актуальною в контексті післявоєнного відновлення та інтеграції до Європейського Союзу. Вона сприяє модернізації економіки через впровадження інноваційних технологій; зменшенню екологічного навантаження та покращенню якості життя громадян; виконанню міжнародних зобов'язань у сфері кліматичної політики та сталого розвитку. Таким чином, зелена цифрова трансформація є ключовим напрямом розвитку, що поєднує технологічний прогрес з екологічною відповідальністю, забезпечуючи стійке майбутнє для України і всього світу²⁶.

Зелену цифрову трансформацію в Україні розробляють та впроваджують різні державні та експертні організації, спираючись на концепції сталого розвитку, циркулярної економіки та європейського досвіду. Офіс ефективного регулювання BRDO підготував Зелену книгу «Цифрова трансформація як основа Європейського зеленого курсу і відновлення», яка визначає цифрову трансформацію як ключовий елемент повного відновлення України та її інтеграції до Європейського зеленого курсу. Національна рада з відновлення України розробляє стратегічні документи, що включають екологічні цілі та заходи з імплементації актів ЄС щодо зеленого та цифрового переходів. Міністерство цифрової трансформації України відповідає за розвиток цифрової інфраструктури, електронного урядування та цифрових навичок населення, що є основою для зеленої цифрової трансформації. Дослідники з Черкаського державного технологічного університету та Сумського державного університету аналізують зелену та цифрову трансформацію як системний процес симбіозу зеленого та цифрового курсу розвитку економіки країни²⁷.

Слід виділити основні концепції зеленої цифрової трансформації:

- 1) концепція подвійного переходу передбачає одночасний екологічний та цифровий перехід, спрямований на досягнення кліматичної нейтральності та сталого розвитку;

26 Voronkova V., Nikitenko V., Oleksenko R., Andriukaitiene R., Polysaiev O. (2023). Environmental crisis overcoming as a factor for achieving economic sustainability in the context of the European green course (Подолання екологічної кризи як чинник досягнення економічної стійкості в контексті європейського зеленого курсу). *Cuestiones Políticas*, 41(77). 612-629. <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4177.41>.

27 Череп А., Воронкова В., Андриякайтене Р., Денисенко М. Соціально-економічна безпека у контексті міжнародного економічного клімату задля забезпечення конкурентоспроможності економіки. *Acta Academia Beregsiensis. Economics*. Вип. 3(2023). Volum 3(2023). С. 172-179; URL: <https://aab-economics.kmf.uz.ua/aabe/article/view/87/84>, DOI: <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2023-3-172-179>.

- 2) концепція циркулярної економіки базується на повторному використанні ресурсів, зменшенні відходів та екологічному дизайні продуктів;
- 3) концепція сталого розвитку поєднує економічне зростання, соціальну справедливість та екологічну стійкість для задоволення потреб нинішніх та майбутніх поколінь;
- 4) концепція розумні мережі включає інноваційні енергетичні системи, що використовують цифрові технології для ефективного управління енергоспоживанням та інтеграції відновлюваних джерел енергії²⁸. Ці концепції та ініціативи спрямовані на створення екологічно стійкої та цифрово розвиненої економіки в Україні, що відповідає європейським стандартам та сприяє повоєнному відновленню країни.

Окрім вже згаданих концепцій, таких як подвійний перехід (twin transition), циркулярна економіка та розумні мережі (smart grids), існують інші важливі підходи до зеленої цифрової трансформації, які активно впроваджуються в Україні та Європі. Приведемо приклади:

- 1) Зелений цифровий уряд (Green Digital Governance), що представляє стратегію використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для підтримки екологічно сталих політик і практик. Вона включає застосування цифрових інструментів для моніторингу та регулювання впливу на довкілля, а також сприяє розвитку чистих і відновлюваних джерел енергії в технологічному секторі²⁹.
- 2) Цифрові технології для екологічної стійкості (Digital Technologies for Environmental Sustainability) передбачає використання цифрових технологій, таких як великі дані, Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект, для прискорення дій у сфері клімату, зокрема зменшення викидів у енергетичному, транспортному та матеріальному секторах.
- 3) Пакт про кліматичну нейтральність дата-центрів (Climate Neutral Data Centre Pact) – ініціатива, підтримувана Європейською Комісією, яка об'єднує операторів дата-центрів та постачальників хмарних послуг з метою досягнення кліматичної нейтральності до 2030 року. Пакт пе-

28 Промисловий потенціал складних соціально-економічних систем цифрового суспільства: макро-, мезо- та мікрорівень; колективна монографія/ за ред. д.філософ.н., проф. Воронкової В. Г., д.е.н., проф. Метеленко Н. Г. Запоріжжя: Видавний дім «Гельветика». 2022. 480 с.; URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/7043>.

29 Cherep, A., Voronkova, V., Androsova, O. (2022). Transformational changes in organizational management and human resources in the digital age. *Baltic Journal of Economic Studies*. 8(3), 210-219; URL: <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue>.

редбачає конкретні цілі щодо енергоефективності, використання відновлюваної енергії та управління відходами.

- 4) Цифрова трансформація як інструмент реалізації Зеленого курсу (Digital Transformation as a Tool for Implementation of the Green Deal). Ми хочемо зазначити, що зазначено, що ключовими секторами для зелених трансформацій в економіці України є аграрний сектор, промисловість та транспорт³⁰.

Цифрова трансформація розглядається як засіб впровадження концепції Зеленого курсу в національну економіку України. Цей підхід фокусується на розвитку відновлюваної енергії та водню, циркулярної економіки, управління ресурсами та відходами, машинобудування, сільського господарства, меблевої промисловості та цифровізації промисловості як пріоритетних секторів для зеленого відновлення та переходу в Україні. Ці концепції демонструють багатогранність підходів до зеленої цифрової трансформації, що охоплюють різні сектори економіки та сприяють сталому розвитку³¹.

ЄС просуває концепцію подвійного переходу, яка поєднує цифрову трансформацію з екологічною стійкістю. Цей підхід передбачає використання цифрових технологій для досягнення екологічних цілей, таких як зменшення викидів та підвищення енергоефективності. Дослідження показують, що цифровізація позитивно впливає на економічну продуктивність та стійкість у країнах ЄС³². Пакт про кліматичну нейтральність дата-центрів, як ініціатива, підтримувана Європейською Комісією, об'єднує операторів дата-центрів та постачальників хмарних послуг з метою досягнення кліматичної нейтральності до 2030 року. Пакт передбачає конкретні цілі щодо енергоефективності, використання відновлюваної енергії та управління відходами. Ініціатива «Destination Earth» представляє проєкт Європейської Комісії, спрямований на створення

30 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: 10.51587/9798-9917-51919-2025-022-69-83.

31 Sliusar M. Stablishment and development of the network platform model in China and its impact on the formation of the digital economy. Humanities studies: Collection of Scientific Papers . Zaporizhzhia: Publishing house "Helvetica", 2023. 14 (91). P. 165–175. doi:<https://doi.org/10.32782/hst-2023-14-91-19>.

32 Marienko V., Voronkova V., Nikitenko V. (2023). Informatisation of the digital economy as the main trend of exponential development) (Інформатизація цифрової економіки як головної тенденції експоненційного розвитку). Baltic Journal of Economic Studies, Latvia : "Baltija Publishing". Vol. 9 No 4 (2023). P. 178-183. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue/article/view/2215>.

цифрового двійника Землі для моделювання кліматичних змін та природних катастроф. Це дозволить політикам ефективніше реагувати на екологічні виклики та приймати обґрунтовані рішення. Приведемо приклади реалізації синергії зеленої та цифрової трансформації в країнах ЄС в нових умовах глобалізації³³ (Табл.1).

Таблиця 1

**Приклади реалізації синергії зеленої
та цифрової трансформації в країнах ЄС
в нових умовах глобалізації**

Країна	Опис реалізації прикладу
1	2
Іспанія	Уряд Іспанії планує використати 4,5 мільярда євро з фондів ЄС для субсидування малих та середніх підприємств у сфері цифрової трансформації та зеленої економіки. Це сприятиме модернізації бізнесу та підвищенню конкурентоспроможності.
Німеччина та Франція	Лідери цих країн підкреслюють необхідність зміцнення європейського суверенітету через інвестиції в технології, декарбонізацію енергетичних систем та інтеграцію фінансових ринків для забезпечення сталого економічного зростання.
Швеція: Місто Хілліє в Мальме – приклад кліматично-розумного міського розвитку	Район Хілліє в Мальме перетворився з постіндустріальної зони на зразок сталого міського середовища. Завдяки партнерству між містом, енергетичною компанією E.ON та водопостачальником VA SYD, район використовує виключно відновлювану та рекуперовану енергію, включаючи сонячну, вітрову, біогаз, енергію з відходів та промислового тепла. Інноваційні технології, такі як E.ON's ectogrid та ectocloud, оптимізують тепловий потік через цифрову інтеграцію та рішення для зберігання енергії, перенаправляючи надлишкову енергію туди, де вона потрібна, максимізуючи ефективність.
Греція: План відновлення та стійкості в рамках NextGenerationEU	Греція розробила план відновлення та стійкості, що включає інвестиції в цифрову та зелену трансформацію. План передбачає модернізацію цифрової інфраструктури, підтримку відновлюваних джерел енергії, розвиток стійкого транспорту та управління водними ресурсами. Ці заходи спрямовані на підвищення економічної стійкості та екологічної сталості країни

³³ Воронкова В. Г., Метеленко Н. Г., Ажажа М. А., Арабаджиев Д. Ю., Нікітенко В. О., Дашков А. О., Венгер О. М., Фурсін О. О., Шарапова Т. А., Цикін Д. С. Інтеграція цифрових технологій в систему безпеки: адаптація до нових викликів і можливостей. Цифрова трансформація промислового менеджменту у контексті викликів, можливостей та змін: колективна монографія / За ред. д. ф. н., проф. Воронкової В. Г., д. е. н., проф. Метеленко Н. Г. : Львів–Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 432-562; URL: <https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/24045> C.432-562.

Продовження табл. 1

1	2
Фінляндія, Нідерланди та Данія	У цих країнах високий рівень соціальної стійкості цифрової трансформації сприяє досягненню цілей сталого розвитку.
Пакт про кліматичну нейтральність дата-центрів в країнах ЄС	Це ініціатива, підтримувана Європейською Комісією, яка об'єднує операторів дата-центрів та постачальників хмарних послуг з метою досягнення кліматичної нейтральності до 2030 року. Пакт передбачає конкретні цілі щодо енергоефективності, використання відновлюваної енергії та управління відходами.

Таблиця 1 (сформована авторами)

Ці приклади показують, як країни ЄС інтегрують цифрові технології для досягнення екологічної стійкості, сприяючи сталому розвитку та підвищенню якості життя громадян³⁴. Зелена цифрова трансформація в ЄС є комплексним процесом, що поєднує екологічні та цифрові стратегії для досягнення сталого розвитку. Країни-члени ЄС впроваджують різноманітні ініціативи та програми, спрямовані на інтеграцію цифрових технологій у сферу екології, що дозволяє ефективніше вирішувати сучасні виклики та сприяти економічному зростанню³⁵.

Як засвідчив аналіз, синергія зеленої та цифрової трансформації набуває особливого значення в умовах глобалізації, соціальних змін та поствоєнної трансформації, особливо для країн, що відновлюються після конфліктів, таких як Україна. Цей підхід дозволяє поєднати екологічну стійкість із технологічним розвитком, сприяючи сталому економічному зростанню та соціальній згуртованості. У сучасному світі глобалізація сприяє поширенню цифрових технологій, які, в свою чергу, можуть підтримувати екологічні ініціативи. Наприклад, цифрові платформи дозволяють ефективніше управляти ресурсами, зменшувати викиди та оптимізувати логістичні процеси. Це особливо актуально для країн ЄС, де цифрова трансформація сприяє досягненню цілей сталого розвитку. Дослідження показують, що соціальна стійкість цифро-

³⁴ Крупа А., Мар'єнко В. Вплив інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) на цифрову трансформацію суспільства: соціально-філософський аналіз. Educational discourse : collection of scientific papers / Chief Editor O. P. Kyvliuk, D. B. Svyrydenko – Kyiv : LLC "Scientific Information Agency "Science-technologies-information", 2025. Volume 52(1-2). С. 53-60.

³⁵ Цифрова трансформація промислового менеджменту у контексті викликів, можливостей та змін: колективна монографія / За ред. д.ф.н., проф. Воронкової В. Г., д.е.н., проф. Метеленко Н. Г. : Львів – Торунь : Liha-Pres, 2024. 592 с. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog>.

вої трансформації (SOSDIT) є ключовим фактором успішного впровадження технологій³⁶.

У контексті поствоєнного відновлення, синергія зеленої та цифрової трансформації може стати основою для побудови стійкої та інноваційної економіки. Використання цифрових технологій для моніторингу екологічного стану, управління відновлюваними ресурсами та розвитку «розумних» інфраструктур сприяє ефективному відновленню та модернізації країни. Поєднання зеленої та цифрової трансформації створює нові можливості для інновацій, підвищення конкурентоспроможності та забезпечення екологічної стійкості. Цей підхід дозволяє країнам адаптуватися до сучасних викликів, забезпечуючи сталий розвиток та соціальну згуртованість.

Отже, синергія зеленої та цифрової трансформації в умовах глобалізації, соціальних змін та поствоєнної трансформації є ключовим чинником для забезпечення сталого розвитку та відновлення країн, що постраждали від конфліктів (Табл.2).

Таблиця 2

**Напрями оптимізації синергії цифрових технологій
і зеленої інфраструктури**

Напрямок	Напрями оптимізації
1	2
Інтеграція цифрових технологій у зелені інфраструктури	Використання Інтернету речей (IoT) для моніторингу та управління екологічними процесами, зокрема для відслідковування викидів CO ₂ , використання води та енергетичних ресурсів. Створення "розумних" міст (smart cities) з інтегрованими екологічними рішеннями, що дозволяють ефективно використовувати природні ресурси і зменшувати відходи.
Використання великих даних (Big Data) для управління екосистемами	Збір та аналіз даних для прогнозування змін в екосистемах, як-от зміну клімату, засухи, зниження біорізноманіття. Використання аналізу даних для оптимізації споживання енергії та водних ресурсів в промисловості та побуті.
Розвиток зеленої енергетики через цифрові технології	Впровадження цифрових рішень для управління відновлювальними джерелами енергії, такими як сонячні та вітрові електростанції, через автоматизацію та моніторинг їх роботи. Використання блокчейн-технологій для створення прозорих і ефективних систем розподілу та обліку "зеленої" енергії.

36 Череп А., Воронкова В., Череп О. (2024). Інноваційні європейські практики диджиталізації як ключовий чинник забезпечення соціально-економічної безпеки в умовах глобальних викликів. Socio-Economic Relations in the Digital Society, 3(53), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.55643/ser.3.53.2024.566> с. URL: <https://ser.net.ua/index.php/SER/issue/view/30>.

Продовження табл. 2

1	2
Цифрові платформи для екологічної освіти та просвіти	Розробка онлайн-курсів, вебінарів і мобільних додатків для підвищення обізнаності громадськості про стійкий розвиток, екологічні проблеми та інноваційні рішення для збереження природних ресурсів. Платформи для підтримки зеленої економіки, які допомагають бізнесам інтегрувати екологічні практики через цифрові інструменти.
Підтримка цифрових інструментів для відновлення після криз	Створення стратегій для використання цифрових технологій в процесах післявоєнної реконструкції, зокрема для відновлення екосистем, інфраструктури та забезпечення екологічної стійкості в постконфліктних регіонах. Використання дронів і роботизованих технологій для оцінки та відновлення пошкоджених екосистем після стихійних лих або військових конфліктів.
Цифровізація ланцюгів поставок для зменшення викидів	Розробка цифрових платформ для оптимізації ланцюгів постачання, що допомагають скоротити викиди вуглецю через зменшення транспортування та оптимізацію виробничих процесів. Використання технологій для вимірювання екологічного сліду та вибору найбільш стійких постачальників.
Моделювання екологічних сценаріїв з використанням ШІ та симуляцій	Використання штучного інтелекту для прогнозування змін клімату, моделювання наслідків забруднення та вирішення проблем, пов'язаних із збереженням біорізноманіття. Розробка симуляційних платформ для вивчення екологічних процесів та оптимізації управлінських рішень у сфері сталого розвитку.

Таблиця 2 (сформована авторами)

Оптимізація синергії зеленої та цифрової трансформації³⁷ в умовах глобалізації та поствоєнної трансформації передбачає кілька важливих напрямків, які можуть бути ефективно застосовані для досягнення сталого розвитку, збереження природних ресурсів та інтеграції інноваційних технологій³⁸. Ці напрямки оптимізації допоможуть поєднати досягнення у галузі екології та цифрових технологій, сприяючи створенню стійких, екологічно чистих і технологічно розвинених систем. Реалізація синергії зеленої та цифрової трансформації в умовах глобалізації та поствоєнної трансформації вимагає впровадження комплексних механізмів, що поєд-

37 Крупа А. Технологія чат-бот як чинник комп'ютерно-посередницької комунікації цифрового суспільства. HUMANITIES STUDIES: збірник наукових праць / Гол. ред. В. Г. Воронкова. Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Випуск 12 (89). 196 с. С. 130-141. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/266484/262502>.

38 Nikitenko V., Voronkova V., Kaganov Y. (2022). The concept of developing a “blue economy” as a basis for sustainable development. Baltic Journal of Economic Studies, Volume 8 Number 5. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”. 139-145. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue/article/view/1987..>

нують технологічні, економічні та соціальні аспекти. Виділимо основні механізми, які можуть бути застосовані для оптимізації зеленої цифрової трансформації (Табл.3).

Таблиця 3

**Основні механізми для оптимізації зеленої
цифрової трансформації**

Механізм	Напрямок його впровадження та використання
1	2
Механізм розвитку інтелектуальних (смарт) міст і регіонів	Впровадження смарт-мереж, що включають автоматизовані системи енергозбереження, управління водними ресурсами та відходами, а також впровадження відновлюваних джерел енергії.
Механізм екологічного моніторингу через цифрові платформи	Використання IoT, дронів і сенсорних технологій для відстеження екологічних змін, викидів вуглецю, рівня забруднення, зниження біорізноманіття та моніторингу стану ґрунтів, води і повітря.
Платформи для збереження природних ресурсів	Створення відкритих цифрових платформ для громадськості та бізнесу, де можна здійснювати моніторинг та управління природними ресурсами, брати участь у екологічних ініціативах, а також обмінюватися даними щодо сталого розвитку.
Механізм надання фінансування через цифрові платформи	Створення цифрових платформ для залучення інвестицій у зелені технології та проекти, таких як зелені облігації або краудфандингові ініціативи для екологічних проектів.
Зелені цифрові інструменти для бізнесу	Використання цифрових платформ для покращення ефективності ланцюгів постачання з урахуванням екологічних стандартів, що допомагає скоротити викиди CO ₂ та зменшити екологічний слід.
Інструменти для екологічного аудиту	Впровадження програмного забезпечення для оцінки екологічного сліду підприємств, на основі якого розробляються рекомендації щодо зниження впливу на навколишнє середовище.
Інтелектуальні енергетичні мережі	Впровадження цифрових мереж для управління енергоспоживанням, використанням відновлювальних джерел енергії, а також оптимізації витрат енергії на рівні промислових підприємств та домогосподарств.
Розумне управління водними ресурсами	Використання цифрових технологій для моніторингу та управління водними ресурсами в реальному часі, включаючи аналіз якості води, рівня водозабору та моніторинг екосистем водних об'єктів.
Інкубатори та акселератори для зелених технологій	Створення стартап-інкубаторів, які спеціалізуються на розвитку інноваційних екологічних рішень через цифрові технології. Це дозволяє стартапам отримати підтримку у вигляді фінансування, ресурсів та мереж для розвитку.

Продовження табл. 2

1	2
Механізм публічно-приватних партнерств	Залучення державних та приватних підприємств для фінансування і реалізації проектів з інтеграції зелених та цифрових технологій у різних галузях, таких як енергетика, транспортування та сільське господарство.
Механізм розвитку цифрових зелених інвестицій	Створення цифрових платформ для залучення інвестицій у сталий розвиток, таких як платформи для зелених облігацій чи фінансування інноваційних екологічних стартапів.
Механізм цифрового відновлення поствоєнних територій	Використання цифрових платформ для моніторингу та планування відновлення інфраструктури в поствоєнних регіонах, з акцентом на екологічні та технологічні рішення.
Механізм міжнародних партнерств для відновлення	Створення міжнародних платформ для співпраці між державами та організаціями щодо відновлення екосистем, інфраструктури та економіки в поствоєнних регіонах за допомогою цифрових технологій.
Механізм просвіти та онлайн-освіти	Використання цифрових платформ для створення онлайн-курсів, вебінарів, блогів і мобільних додатків, які підвищують обізнаність громадськості з питань сталого розвитку, охорони природи та екологічних практик.
Підтримка "зелених" технологій через цифрову політику	Впровадження державної цифрової політики для стимулювання розвитку екологічних інновацій, зокрема через надання субсидій, пільг чи фінансування для компаній, які впроваджують екологічні рішення.

Таблиця 3 (сформована авторами)

Ці механізми реалізації дозволяють ефективно інтегрувати цифрові та екологічні інновації в усі сфери суспільного життя, забезпечуючи стійкий розвиток, економічну вигоду та збереження природних ресурсів. Зелена цифрова трансформація є необхідним процесом для забезпечення сталого розвитку в умовах сучасних глобальних викликів³⁹. У рамках глобалізації цей процес сприяє інтеграції нових технологій на міжнародному рівні, що дозволяє розвивати екологічно чисті та ефективні рішення, впроваджуючи інноваційні підходи в енергетиці, сільському господарстві та промисловості. Водночас соціальні зміни, такі як зростаюча обізнаність населення про екологічні проблеми та потреба в справедливості в доступі до зелених

³⁹ Cherep A., Voronkova V. Cherep O., Ohrenych Y., Dashko I, Kotliarov V. The Impact of Artificial Intelligence on the Level of Socio-Economic Security of Ukraine in the Context of Modern European Integration Challenges. Journal: Navigating the Technological Tide: The Evolution and Challenges of Business Model Innovation Lecture Notes in Networks and Systems, 2024, p. 320-33. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67434-1_30.

технологій, створюють умови для підтримки сталого розвитку, що гармонізує економічні, екологічні та соціальні інтереси. Особливо важливим є застосування цифрових технологій для оптимізації використання природних ресурсів і зменшення екологічного впливу⁴⁰.

Це включає в себе використання Інтернету речей (IoT), великих даних, штучного інтелекту та блокчейну для моніторингу екологічної ситуації, управління енергетичними системами та відновлення екосистем. В умовах поствоєнної трансформації, цифрові та зелені інновації допомагають відновлювати економічні і соціальні структури, забезпечуючи сталий розвиток і перехід до більш стійкої моделі після конфліктів⁴¹.

Таким чином, інтеграція цифрових і екологічних рішень у глобальну стратегію розвитку є важливим етапом для досягнення сталості в умовах постійних змін. Зелена цифрова трансформація не лише сприяє зменшенню екологічних ризиків, але й відкриває нові можливості для економічного зростання та соціальної стабільності в умовах глобалізації і соціальних змін. Зелена цифрова трансформація, як інтеграція екологічних і цифрових інновацій, стає ключовим напрямом сталого розвитку в умовах глобалізації, соціальних змін та поствоєнної трансформації. У рамках глобалізаційних процесів, що характеризуються поглибленою взаємозалежністю держав та швидким поширенням технологій, зростає потреба в адаптації економік і суспільств до нових викликів, серед яких зміна клімату та ресурсні обмеження є найактуальнішими⁴².

Глобальна інтеграція технологій дозволяє забезпечити ефективне впровадження зелених ініціатив у широких масштабах, сприяючи розвитку інноваційних галузей, таких як відновлювальна енергетика, смарт-міста та сталий транспорт, що підвищують екологічну ефективність на глобальному рівні. Соціальні зміни, зокрема збільшення рівня екологічної свідомості населення та розвитку концепції справедливого переходу до зеленої економіки, створюють сприятливі умови для впровадження сталих

40 Череп А. В., Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Череп О. Г. Концепція циркулярної (кругової) або економіки замкнутого циклу як різновиду нового типу економіки. "Vectors of the development of science and education in the modern world" ("Вектори розвитку науки і освіти на сучасному світі") / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 96-113. DOI: 10.51587/9798-9866-95976-2023-014-96-113.

41 Voronkova V., Zvezdova O., Khmel A., Lushahina T., Lanoviuk L. (2022). Theoretical and practical aspects of modern politics: challenges and reformatting of the global world. Cuestiones políticas. Vol. 40 N° 75. 537-549. DOI: <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4075.32>.

42 Воронкова В., Нікітенко В. Світові тенденції переходу до сталого розвитку на основі цифрових технологій (на прикладі США і Китаю). В кн.: Modern trends in science and practice. Volume 2 : collective monograph California : GS Publishing. Services. 2022 С. 31-40. URL: <https://www.eo.kiev.ua/resources/arhivMonographs/monoForSite6.pdf>.

практик. У цих умовах цифрові технології, зокрема великий аналіз даних, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ) і блокчейн, виступають в якості основних інструментів для моніторингу та управління екологічними процесами, забезпечуючи раціональне використання природних ресурсів, зменшення викидів парникових газів та оптимізацію енергетичних систем. Цифрові технології дозволяють створювати інтелектуальні системи управління, що здатні не лише контролювати потоки ресурсів, а й здійснювати прогнозування та адаптацію до зміни кліматичних умов⁴³.

Особливе значення в контексті поствоєнної трансформації має використання зелених цифрових технологій для відновлення економік після кризових ситуацій, таких як війни та конфлікти. У таких умовах інтеграція інноваційних екологічних і цифрових рішень стає важливим інструментом для відновлення інфраструктури, розвитку нових стійких виробничих процесів і підтримки соціальних структур. Відновлення після воєнних конфліктів вимагає не лише фізичного відновлення інфраструктури, але й сприяння соціальній інтеграції, що включає в себе забезпечення рівного доступу до новітніх технологій, створення зелених робочих місць і розвиток соціально орієнтованих ініціатив⁴⁴.

Інтеграція зелених і цифрових технологій у систему екологічного менеджменту та забезпечення екологічної безпеки є не лише стратегічною необхідністю для вирішення екологічних проблем, але й важливою складовою економічного та соціального розвитку в умовах глобальних змін⁴⁵. Цей процес вимагає комплексного підходу, що враховує технологічні, економічні та соціальні аспекти сталого розвитку, зокрема через активну підтримку інноваційної діяльності, політики, орієнтованої на інклюзивність, та сприяння розвитку національних і міжнародних партнерств, спрямованих на досягнення цілей сталого розвитку на глобальному рівні.

У сучасних умовах глобальних викликів, пов'язаних із зміною клімату, техногенними навантаженнями та виснаженням природних ресурсів,

43 Voronkova V., Nikitenko V., Vasylychuk G. (2023). Foreign experience in implementing digital education in the context of digital economy transformation. *Baltic Journal of Economic Studies*, 9(3), 56-65. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2023-9-3-56-65>.

44 Nikitenko V., Voronkova V., Oleksenko R., Matviienko H., Butkevych O. (2023). Sustainable agricultural development paradigm formation in the context of managerial experience of industrialized countries. (Формування парадигми сталого розвитку сільського господарства в контексті управлінського досвіду промислово розвинених країн). *Revista de la universidad del ZULIA*. 3ª época. Año 14Nº 39. 81-97. DOI: <http://dx.doi.org/10.46925/rdluz.39.05>.

45 Sliusar M.. Stabilishment and development of the network platform model in China and its impact on the formation of the digital economy. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers*. Zaporizhzhia: Publishing house "Helvetica", 2023. 14 (91). P. 165–175. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2023-14-91-19>.

цифрові технології відіграють ключову роль у забезпеченні сталого розвитку. Їх впровадження в систему екологічного менеджменту сприяє підвищенню ефективності управлінських процесів, своєчасному реагуванню на екологічні загрози та впровадженню інноваційних рішень для зменшення впливу на довкілля. Цифрові інструменти – від екосенсорики до великих даних і штучного інтелекту – відкривають нові можливості для трансформації економіки у напрямку екологічної сталості, сприяють прозорості екологічного контролю та активізації зеленої інвестиційної політики. Вони створюють платформу для переходу до зеленої економіки, яка базується на принципах ефективного використання ресурсів, соціальної відповідальності та інноваційності. Таким чином, цифровізація є невід’ємною складовою сучасної екологічної політики, а її стратегічний розвиток – запорука формування безпечного та сталого майбутнього⁴⁶.

Крім того, цифрові технології сприяють налагодженню ефективної взаємодії між державними інституціями, бізнесом та громадянським суспільством, формуючи нову екологічну культуру управління, засновану на відкритості, аналітичності та екологічній відповідальності. Вони також відкривають перспективи для розвитку «розумних» міст (smart cities), цифрових платформ для екологічного моніторингу та екосистем управління в режимі реального часу. Підвищення цифрової грамотності, розвиток цифрової інфраструктури та інтеграція екологічних пріоритетів у цифрову політику є необхідними умовами для того, щоб екологічна безпека та зелена економіка стали невід’ємною частиною національних стратегій сталого розвитку⁴⁷. В умовах глобальної нестабільності й екологічних загроз, лише синергія цифрових рішень і екологічної політики дозволить досягти довгострокової екологічної рівноваги⁴⁸.

Таким чином, цифрові технології не лише посилюють можливості екологічного менеджменту, а й виступають потужним драйвером трансформації економіки у сторону сталості, безпеки та інновацій. Практичні

46 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О. Синергія цифрових технологій та зеленого розвитку: взаємодія і взаємозв’язок. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2024. С. 68-72. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotoviy-4.pdf.

47 Там само.

48 Метеленко Н. Г., Нікітенко В. О., Воронкова В. Г. Реалізація зеленої стратегії у контексті парадигми ESG (ENVIRONMENTAL, SOCIAL, GOVERNANCE). Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2024. С. 230-235; URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotoviy-4.pdf.

рекомендації для організацій та підприємств: розробити й впровадити національні програми цифрової трансформації у сфері охорони довкілля; впроваджувати електронні платформи для екологічного моніторингу та контролю з відкритим доступом до даних; організовувати освітні ініціативи для державних службовців, бізнесу та населення щодо використання цифрових рішень для екозахисту; надати податкові пільги та фінансові стимули для підприємств, що впроваджують цифрові інновації для екологічної модернізації; підтримувати стартапи та наукові розробки у сфері екотехнологій та зеленої економіки; створювати «розумні» міста із системами цифрового управління відходами, енергозбереження та контролю якості повітря; впроваджувати IoT (інтернет речей) для моніторингу стану довкілля в режимі реального часу; активізувати участь у міжнародних проєктах з цифровізації екологічного управління; обмінюватися досвідом і технологіями з провідними країнами у сфері smart ecology та sustainable digital governance. Це буде сприяти упровадженню концепції цифрових технологій як чинника сталого розвитку екологічного менеджменту, екологічної безпеки та зеленої економіки в умовах глобальних викликів.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-95-119

ГЕТЬМАН Дмитро Володимирович,
аспірант,
Львівський національний університет імені Івана Франка

МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАТКОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ КРИПТОВАЛЮТИ В УКРАЇНІ

Першим кроком до запровадження податкового регулювання криптовалюти стало її офіційне визнання як правової категорії. В Україні цей процес розпочався із прийняттям Закону України «Про віртуальні активи»¹ у вересні 2021 року. Закон визначає поняття «віртуальний актив» як нематеріальне благо, яке має вартість і є об'єктом цивільних прав.

Позиція Національного агентства з питань запобігання корупції, Національного банку України та Міністерства цифрової трансформації

1 Закон України «Про віртуальні активи» від 17 лютого 2022 року № 2074-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2074-20>.

України дещо інша і базується на нормі ст. 190 Цивільного кодексу України², за якою криптовалюта вважається майном, хоча і не згадується напряму, як нематеріальний актив, що має економічну цінність, і, відповідно, криптовалюта розглядається ними як об'єкт права власності та включається до електронних декларацій, а у низці судових рішень криптовалюти (наприклад, Bitcoin) визнаються майном, щодо якого можуть застосовуватись положення про витребування, арешт, стягнення тощо. Українські суди неодноразово підтверджували, що криптовалюта має правову природу майна, яке може бути об'єктом права власності, успадкування, застави, дарування, поділу тощо, що підтверджується, зокрема, постановами щодо арешту криптовалютних активів у рамках кримінальних проваджень; визнанням Bitcoin об'єктом права власності; розглядом криптовалюти як спільного майна подружжя.

З іншої сторони, криптовалюта не визнана Законом України «Про віртуальні активи» законним платіжним засобом і є лише нематеріальним благом, а це суперечить її фактичному використанню, коли операції з нею допускаються за умови дотримання KYC/AML. Кейнсіанська економічна теорія³, зокрема її монетарна частина, розглядає гроші як важливий інструмент стабілізації економіки, що залежить від попиту на гроші, процентної ставки, державного регулювання та очікувань. Поява криптовалют, які не підпорядковуються централізованому емітенту, ставить під сумнів деякі класичні уявлення кейнсіанців про роль грошей. У цьому контексті криптовалюти можна розглядати як виклик, альтернативу або доповнення до традиційної кейнсіанської моделі.

Отже, існує невизначеність податкового статусу криптовалюти: незрозуміло, чи є криптовалюта майном, валютою чи товаром.

Закон України «Про віртуальні активи» встановив правові засади для обігу криптовалют, діяльності провайдерів послуг, а також регулює питання реєстрації та нагляду за операціями з віртуальними активами. Проте на момент ухвалення закону його повноцінна реалізація була відтермінована⁴ у зв'язку з відсутністю відповідних змін до Податкового кодексу України.

2 Цивільний кодекс України від 16 січня 2003 року № 435-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>.

3 Кейнс Дж. «Загальна теорія зайнятості, відсотків і грошей». 1936. URL: https://library.wunu.edu.ua/files/EVD/book_keyns_otzpd.pdf.

4 Законопроект №7150 «Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо оподаткування операцій з віртуальними активами». URL: https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67423.

У ХХІ столітті криптовалюти стали одним із ключових викликів для фінансової політики держав. Україна, як держава з активною ІТ-екосистемою, стикається з необхідністю інтеграції ринку цифрових активів у правове поле та забезпечення прозорого оподаткування відповідних операцій.

Хоча правовий фундамент для існування криптовалюти в Україні був закладений, податкові аспекти залишаються неврегульованими в повному обсязі. Водночас міжнародна ініціатива BEPS (Base Erosion and Profit Shifting)⁵ від ОЕСР, спрямована на боротьбу з розмиванням податкової бази, значно впливає на нову архітектуру оподаткування, включно з цифровими активами.

У чинному Податковому кодексі України⁶ немає чіткого визначення криптовалюти чи порядку її оподаткування. Внаслідок цього доходи, отримані від операцій із цифровими активами, підлягають оподаткуванню за загальними правилами – як інші доходи фізичних або юридичних осіб. Як правило, фізичні особи декларують прибуток від продажу криптовалюти як дохід, що оподатковується за ставкою 18 % податку на доходи фізичних осіб (ПДФО) та 1,5 % військового збору.

Проте такий підхід викликає численні труднощі на практиці, зокрема пов'язані з оцінкою вартості криптовалюти в момент її набуття, визначенням бази оподаткування, а також із відсутністю єдиної методології для декларування криптодоходів.

У більшості країн світу криптовалюти оподатковуються переважно через прямі податки: податок на прибуток або податок на доходи фізичних осіб. Непрямі податки (ПДВ, акциз) майже не застосовуються до обігу криптоактивів через відсутність фізичного товару та складність їх правової природи. Однак в умовах постійного розширення криптовалютного ринку та потреби у додаткових бюджетних надходженнях, Україна може дослідити можливості оподаткування криптовалют непрямыми податками, зокрема – акцизом. Міжнародна практика на сьогоднішній день така, що операції з криптовалютою звільняються від ПДВ у США, що опосередковано вказує на можливість їх непрямого оподаткування, а у Республіці Індія взагалі запроваджений податок у джерела виплати у

5 Дорожня карта реалізації Плану дій BEPS. URL: [https://mof.gov.ua/storage/files/2017_Roadmap_BEPS_UKRAINE_en\(1\).pdf](https://mof.gov.ua/storage/files/2017_Roadmap_BEPS_UKRAINE_en(1).pdf).

6 Податковий кодекс України від 2 грудня 2010 року № 2755-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>.

розмірі 1 % з усіх криптотранзакцій, який суто технічно можна вважати певною мірою аналогом непрямого фіскального механізму.

Потенційними перевагами акцизу, за умови уникнення ризику надмірного оподаткування через поєднання акцизу і ПДФО шляхом зменшення власне ПДФО як менш дохідноорієнтовного для держави у порівнянні з криптовалютою як з високо спекулятивним, і відповідно, доходним активом, може бути:

Збільшення доходів у державний бюджет: ринок криптовалют в Україні становить мільярди гривень, і навіть невелика акцизна ставка (до 1 %) на обіг може приносити стабільний дохід державі;

Введення акцизу може стимулювати реєстрацію бірж, трейдерів, криптоплатформ, що дозволить обмежити «сірий» ринок;

Акциз може стати інструментом стримування надмірної спекулятивної активності з криптовалютами.

Попри наявні труднощі, створення ефективного податкового регулювання криптовалют в Україні відкриває низку важливих можливостей. Насамперед, йдеться про потенційні додаткові надходження до державного бюджету. Згідно з оцінками експертів, обсяги операцій із криптовалютою серед українських громадян щорічно становлять мільярди гривень, проте лише незначна частка з них декларується. Запровадження прозорих і зрозумілих правил оподаткування могло б стимулювати громадян до легалізації своїх доходів, що, у свою чергу, сприяло б зростанню фіскального потенціалу держави.

Крім того, податкове регулювання є важливим інструментом формалізації криптовалютного ринку. Створення умов для відкритої підприємницької діяльності у сфері віртуальних активів може сприяти виходу з тіні значної кількості компаній, а також активізувати розвиток супутніх секторів економіки – фінансових технологій, кібербезпеки, ІТ-консалтингу. У цьому контексті особливо важливим є забезпечення балансу між фіскальними інтересами держави та економічною доцільністю для платників податків.

Ще одним важливим аспектом є перспектива міжнародної інтеграції. Створення зрозумілої та стабільної податкової системи щодо криптовалют може позиціонувати Україну як привабливу юрисдикцію для криптовалютного бізнесу, особливо в умовах глобальної конкуренції за інвестиції

у сфері цифрових активів. Варто зазначити, що низка країн Європейського Союзу вже мають відносно зрілі системи податкового регулювання криптовалют, що створює орієнтири для українського законодавця.

У найближчій перспективі ключовим завданням є ухвалення змін до Податкового кодексу України, які б офіційно врегулювали оподаткування віртуальних активів. Зокрема, важливо визначити критерії ідентифікації операцій із криптовалютою, принципи визначення ринкової вартості, порядок обліку витрат на її придбання, а також умови звільнення від оподаткування у разі довгострокового володіння активами або встановлення пільг.

Доцільним є запровадження диференційованих ставок оподаткування залежно від характеру операцій (особисте володіння, підприємницька діяльність, трейдинг, майнінг) або рівня доходів. Також можливо впровадити пільгові умови для стартапів у сфері блокчейн-технологій, що сприятиме розвитку інноваційного бізнес-середовища.

Перспективним напрямом є й гармонізація українського податкового законодавства із європейськими нормами, зокрема з Регламентом ЄС «Про ринки криптоактивів» (MiCA)⁷, який передбачає створення єдиного правового простору для операцій із цифровими активами у країнах-членах ЄС. Імплементція подібних підходів дозволить Україні інтегруватися у глобальну криптовалютну інфраструктуру та забезпечити відповідність вимогам міжнародних фінансових інституцій.

Таким чином, питання податкового регулювання криптовалюти в Україні є надзвичайно актуальним у світлі сучасних економічних та технологічних трансформацій. Попри певні законодавчі зрушення, система оподаткування цифрових активів поки що залишається фрагментарною та недостатньо чіткою. Водночас Україна має усі передумови для створення ефективної та прозорої податкової моделі, яка б відповідала як національним інтересам, так і міжнародним стандартам. Реалізація такого підходу сприятиме не лише підвищенню надходжень до бюджету, але й розвитку конкурентоспроможного фінансового ринку, формуванню інноваційної економіки та зміцненню правової держави.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-119-123

7 Регламент ЄС «Про ринки криптоактивів» (MiCA). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1114/oj/eng>.

Natalia RIABININA,

PhD in Social and Behavioral Sciences,
Senior Researcher of the Department of Information Support,
Standardization and Metrology,
Department of Economic Research, Institute of Food Resources
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8378-4485

INNOVATIVE TRENDS IN THE PRODUCTION OF MEAT SUBSTITUTES

Entry. Meat and meat products play an important role in the human nutrition system, although according to the WHO: red meat (natural) is a group 2A carcinogen; Processed meats (sausages, sausages, cured meats) are a group 1 carcinogen. The content of certain compounds in red meat (L-carnitine, heme, etc.) and meat products can affect cardiovascular diseases, lead to intestinal inflammation and cancer¹. It should be noted that the rational amount of red meat consumed by humans is still a debatable topic, but it cannot be denied that meat and natural meat products are the main source of high-quality protein and trace elements.

Source: Author's research²

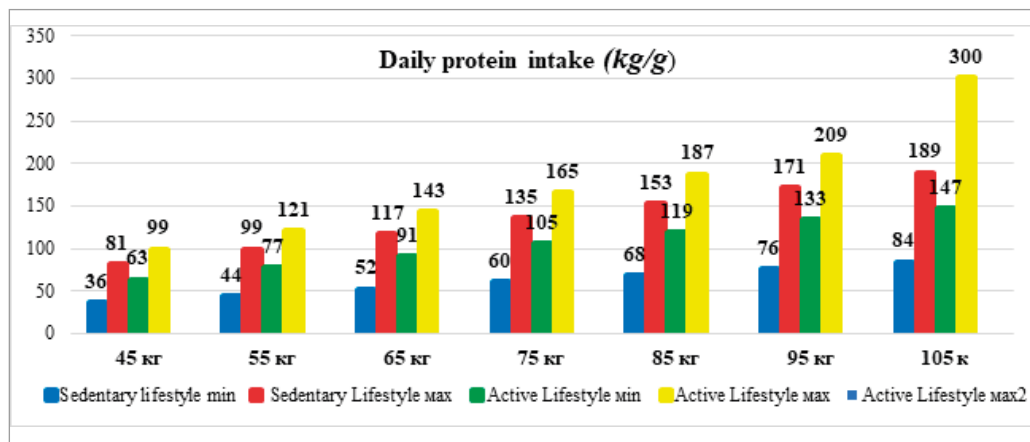


Figure 1. Approximate calculation of daily protein intake (kg/g)

- 1 World Health Organization (WHO). Statistical reports from WHO programs. URL: <https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics>.
- 2 Драган С. (2024). Білок у продуктах: все, що вам потрібно знати для здорового харчування. Здорове та правильне харчування. 2024. URL: <https://fitomarket.com.ua/ua/fitoblog/belok-v-produktah-vsjo-chto-vam-nuzhno-znat-dlja-zdorovogo-pitanija>.

Figure 1 gives an approximate calculation of the daily protein intake (kg/g) according to a person's lifestyle (active, sedentary).

In 2024, the Nobel Prize was shared by: David Baker (Howard Hughes University of Medicine, USA) and Demis Gassabis and John Jumper (Google DeepMind, Britain). Scientists worked in the direction of computer design of protein and prediction of protein structure, and the award of the study indicates the relevance of protein topics³.

Different analogues of food products, as well as a less tolerant ability to call imitation food products, are indeed, become a target for consumers. The researchers of the queen of the food industry are trying to develop alternatives to the mixture of the animal campaign – substitutes for analogues of the plant, as to repeat the organoleptic and living quality of natural meat with the use of herbal plants for the seeds of ingredients, the growth of birch (leguminous dear, cereals, mountains, spinach, avocado, garmelon plant, sprouted buckwheat, rice, flax plant); edible mushrooms (champignons, White mushrooms); seitana; sea waters (sea cabbage, leaf nori, spiruliny); Insects.

The so-called “artificial meat” is intended to be consumed as a substitute for conventional meat and an alternative source of protein. Alternative meat products continue to gain their adherents among consumers. Meat analogues, to one degree or another, imitate its organoleptic and technological properties. The term “artificial meat” is not established, so it can cause confusion among consumers. According to the Law of Ukraine “On the Basic Principles and Requirements for Food Safety and Quality”⁴, the newest food products are food products that have not been in circulation in Ukraine as of a certain date and are characterized by a number of features. Meat analogues include the following: the latest food product can be produced from plants or their parts, from animals or their parts, isolated or produced from cell culture or tissue culture derived from animals, plants, microorganisms, fungi or algae. So, the newest food product consists of either isolated or produced from:

- microorganisms, fungi or algae;
- plants or parts thereof, except for cases where the food product has a history of safe food consumption in Ukraine and consists or is isolated

³ Саркісян В. Нобелівка – 2024. 2024. Куншт. URL: <https://kunsht.com.ua/articles/nobelivka-2024-khimiia-bilky-zavukho-ta-tudy-de-sukho>.

⁴ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» Закон України від 23.12.1997 р. № 771/97-ВР (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 18.02.2025).

or produced from a plant or plant variety of the same species, which are obtained by using plants or parts thereof, except for cases where the food product has a history of safe food consumption in Ukraine and consists or is isolated or produced from a plant or plant variety of the same species, which are obtained by using:

- from animals or parts thereof, except for food products isolated or produced from animals bred by traditional methods, which were used for the production of food products on the territory of Ukraine before the established date and have a history of safe food consumption in Ukraine;
- from cell culture or tissue culture derived from animals, plants, microorganisms, fungi or algae;
- produced by applying a production process that has not been used on the territory of Ukraine before the established date and which can lead to significant changes in the composition or structure of the food product, affect its nutritional value, metabolism or the level of inclusion of undesirable substances.

There are different opinions about the possibility, expediency of production and introduction into everyday diets of food products that, to one degree or another, imitate its organoleptic and technological properties. Basically, meat analogues are of interest to consumers such as adherents of a healthy diet, vegans, as well as those who have certain medical contraindications to the use of natural meat. There is also a considerable group of consumers-experimenters who seek to evaluate market novelties from their own experience. Consumer interest in substitute products is growing. It should be noted that retail chains in Ukraine have already found a place on their shelves for meat analogues – first of all, this applies to more widespread products from plant raw materials in the world.

1. Scientific research and development of meat substitutes of domestic and international practices. Despite objective and subjective warnings, meat substitutes are an important means of overcoming the deficiency of dietary proteins, and various products of meat alternatives are gradually becoming the subject of consumer demand. Therefore, it is advisable to properly study and systematize information on meat analogues for regulatory regulation of their safety and quality. Recently, scientists involved in the study and promotion of meat substitutes have been actively conducting research in this direction. Con-

sider the topics of research in the meat direction, which are directly related to the topic of meat substitutes. Powerful research topics in the meat field are: breeding (20.2 % of the total number of studies); technology (19.4 %); methodology (10.5 %). Scientific developments and research on meat substitutes are actively discussed, analyzed and put into practice. (Fig.2)

Source: Author's research

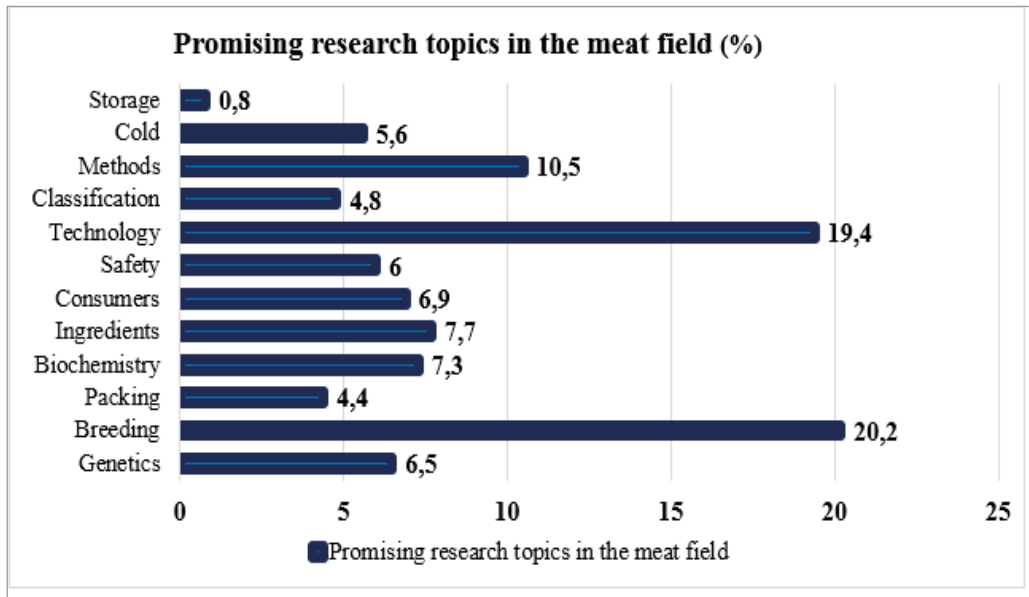


Figure 2. Promising research topics in the meat field

One of the key topics of research in the meat field is technological innovation, which includes new developments in meat substitutes (Table 1).

Table 1

Current research topics in the field of meat substitutes

Source: Author's research

N	Theme	Trends
1	2	3
1	Technology for the manufacture of meat substitutes from legumes (peas, soybeans, etc.).	▼
2	Technology for the manufacture of meat substitutes from cereals (wheat, etc.).	▼
3	Technology for the manufacture of meat substitutes from micro-raw materials.	▲
4	Technology for the manufacture of meat substitutes from insect biomass.	▲

Continuation of table 1

1	2	3
5	Cultured meat: technical and technological issues.	▲
6	Cultured meat: consumer safety and ethical issues.	▲
7	Technology for the manufacture of meat substitutes from milk and other raw materials of animal origin.	▼
8	Assessment of consumers' perception of meat substitute products within diets by region of residence and social groups.	▲

The scientific community is interested in the topics of development and production technologies: cultured meat (technical and technological issues, safety for consumers and ethical issues); meat substitutes from micro-raw materials, fungi and insect biomass. To date, it has been researched and clarified that meat of plant origin usually consists of vegetable protein, as the main raw material, combined with several different components, such as water, fat, polysaccharide, flavors, dyes and other substances. Particular attention is paid to the study of assessing consumer perception of meat substitute products within the framework of diets by region of residence and social groups.

The most common meat analogues are cultured meat (produced by direct cultivation of animal cells), products of plant origin (making a mixture from plants that have a high protein content) and analogues obtained using fermentation (products with a unique taste and modified texture). (Fig. 3).

Source: Author's research

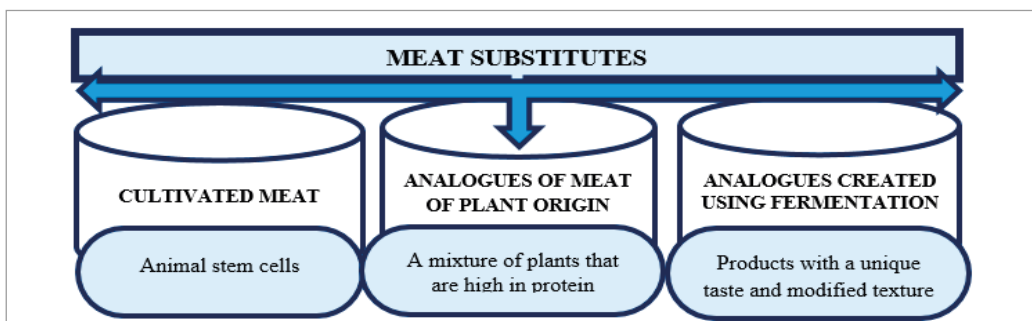


Figure 3. Meat substitutes

Cultured meat. Cultured meat is made up of the same types of cells and replicates the sensory and nutritional properties of regular meat. The resulting animal stem cells are grown in bioreactors with simultaneous saturation with

amino acids, glucose, vitamins and inorganic salts, proteins, etc. Changes in the composition of the environment cause cells to differentiate into skeletal muscle, fat, and connective tissue, which make up meat. The whole process can take anywhere from 2 to 8 weeks. For the first time, cultured meat received official recognition in December 2020, when the Food Agency of Singapore approved the world's first product made from cultured chicken meat for sale. As of the end of 2022, several large companies were already producing cultured meat at pilot facilities.

These products are not products of animal slaughter, that is, they are not meat according to the current regulatory documents that define it. On the other hand, meat analogues, to one degree or another, mimic its organoleptic and technological properties. The most common varieties of meat analogues in the world production and commercial practice are cultured (artificial) meat produced by growing tissue from natural meat cells, as well as imitation meat, for the manufacture of which plant raw materials (vegetables, legumes, fruits, mushrooms, etc.) and raw materials of animal origin (milk, insect biomass, etc.) are used. In a broad sense, the development of these meat analogues, their production and mass presentation on the global food market is one of the directions for overcoming protein deficiency, which is one of the most important nutrients in human nutrition⁵.

Analogues of meat of plant origin. Although plants do not have muscles, they contain protein, fat, vitamins, minerals and water, which are also part of animal meat. Plant-based meat takes advantage of this biochemical similarity between plants and animals. The general method of producing meat of plant origin consists of three main stages:

- cultivation of plant crops (as a source of raw materials);
- processing, purification of raw materials and obtaining proteins, fats and fiber, which will become the basis of a meat product of plant origin;
- forming a mixture of all to create a muscle texture.

Analogues created using fermentation. Nature provides food developers with an almost limitless palette of molecules from which flavors, textures and aromas can be created. However, not all of these ingredients are easy to obtain in large volumes and at an acceptable cost. Through the use of microbial cells,

5 Jimenez MF. Perspectivas de carne cultivada y carne vegetal. Carnetec. 2022 URL: <https://www.carnetec.com/Industry/Blogs/Details/97469>.

precise fermentation allows for the production of almost any ingredient at scale. Enzymatic processing of raw materials of plant origin with the creation of innovative products has prospects. For example, significant disadvantages of meat substitutes include the discrepancy between taste and smell and natural animal products. If you take the ingredients of cereals, which are responsible for the structure, nutritional value and composition of a new product, and add edible mushrooms that are similar in taste to natural meat, you can get a substitute that is at most similar to it. Consequently, cultivated meat and its other analogues may well replace, partially or completely, natural livestock products. The topic is debatable, requires thorough research and public discussion.

Despite multi-vector research and rapid growth of the food market, obvious obstacles to the growth of the production of vegetable meat analogues are: insufficient production efficiency; technological problems of imitating texture; imperfect processing technologies; insufficient similarity to meat in terms of organoleptic characteristics; unacceptably low protein content; concerns about potentially negative effects on human health due to systematic use.

Thus, it can be stated that meat analogues from plant raw materials are an important means of overcoming the deficiency of dietary proteins, and a variety of products produced from this raw material are gradually becoming the subject of consumer demand. There is a lot of work ahead to properly study the issue and create the necessary regulatory framework (technical regulations, standards, technical conditions) to regulate the safety and quality of these products.

2. Challenges and prospects of meat substitutes in Ukraine. Innovative technologies for new meat analogues are not on the rise. Companies such as Upside Foods (USA), Mosa Meat (Netherlands), Aleph Farms (Israel) are already producing the first commercial batches. In 2020, Singapore became the first country to legalize the sale of cultured chicken. The ranking of the most innovative and technological startups of the FoodTech 500 was headed by food companies: Nature's Fynd (USA, Chicago) – growing a nutritious protein of non-animal origin called Fy™ based on the fungus *Fusarium strain flavolapis*; Ÿnsect (France) – production of natural proteins from insects; Nobell Foods (USA) – “programming” soybeans for milk protein production. Food technology company Motif FoodWorks (USA) has launched its first product, Motif Beef-Works plant-based burgers. The global agribusiness giant Cargill, together with Cubiq Foods (Spain), is working on a new technology for the production of fats,

and American engineers have described a method of growing artificial fat in the laboratory ⁶. The food company Meati Foods (USA) makes whole meat from fermented mycelium. Meati Foods co-founder Tyler Huggins believes that Meati meat is a nutritious whole-food protein that uses only a fraction of the ingredients that go into making plant-based meats. In fact, the final product is just mycelium with seasonings. A model for the production of meat analogues from plant raw materials is proposed (Fig. 4).

Source: Author's research

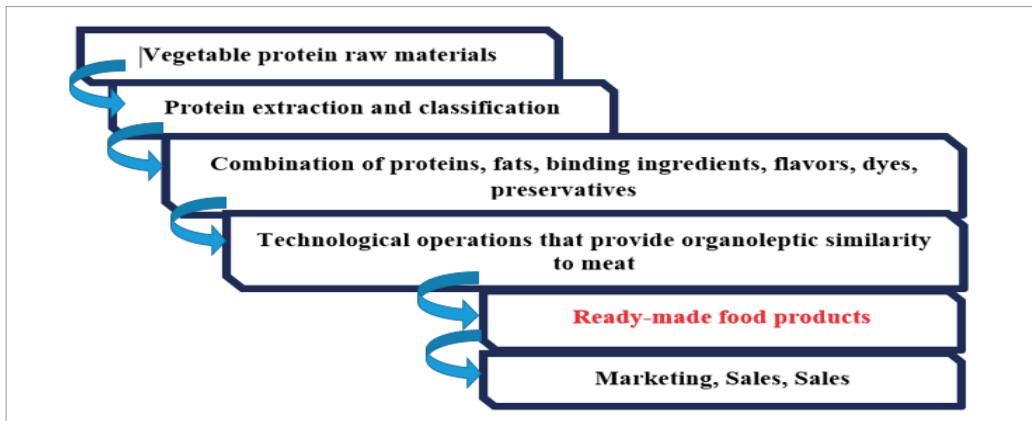


Figure 4. Model of production and sale of meat analogues from plant raw materials

The production of meat substitutes based on plant-based raw materials in Ukraine is also developing: from classic products (minced meat Eat Me At, DreamEat cutlets) to unique ones (marble steak from Green Go, Kyiv cutlets from Wanted Vegan). Table 2 shows analogues of meat from Ukrainian producers that can be found on supermarket shelves.

Table 2

Ukrainian producers of meat substitutes in Ukraine

Source: Author's research ⁷

Manufacturer	Product	Basis	Supermarkets, shops
1	2	3	4
Beyond Meat	vegan burgers	Pea protein	Eco-Shop, Metro, Vegetus, WineTime, GoodWine.

⁶ Лиса А. (2024). До 2050 року дві третини м'яса та молока замінять альтернативні продукти. Landlord. URL: <https://landlord.ua/news/do-2050-roku-dvi-tretyny-myasa-ta-moloka-zaminyat-alternatyvni-produkty>

⁷ Федевич А. (2021). Веганське м'ясо в Україні: підбірка рослинних аналогів м'яса, що присутні на українському ринку. Posteat. 2021. URL: <https://posteat.ua/position/veganske-myaso-v-ukra%D1%97ni-pidbirka-roslinnix-analogiv-myasa-shho-prisutni-na-ukra%D1%97nskomu-rinku/>

Continuation of table 2

1	2	3	4
Nestle- лінія Garden Gourmet	burger patties, sausages, meatballs, nuggets	Vegetable protein	Lviv
Naturly	mince	Soy protein	
Eat Me At	mince	Soybean Insulator	Online store, Maosfood, Vegetus, Eco World and FireFlies (Lviv)
Dream Eat (KK ABK)	burger patties	Soybean Insulator	
TM Vegetus	burger patties.	Appetizing-based tofu, signature-blend of soy and wheat protein, gourmet wheat protein	Vegetus brand stores and on the website
TM Yummy-Yummy	burger patties	Soy protein	Shop Provence, Madame Broccoli and Eggplant (Odesa)
Vegurman	dry pieces of white and red meat	Vegetable protein	
Wanted Vegan	Vegan minced meat		Wintime and Megamarket chains

Having analyzed the main ingredients of meat substitutes from Ukrainian manufacturers, we can single out the use of soybean, pea and wheat insulators, which are available on the Ukrainian market. (Tables 2, 3, 4).

Table 3

Composition and nutritional value of meat substitutes in Ukraine

Source: Author's research⁸

Manufacturer	Product	Nutritional value	Content (r/100r)	Key Ingredients
1	2	3	4	5
Beyond Meat	vegan burgers	265.5 kcal	fats 17.7 g; carbohydrates 9.7 g; proteins 17.7 g; does not contain salt and sugar.	water, pea protein isolate (18 %), canola oil, refined coconut oil, smoking flavors, stabilizers...

⁸ Федевич А. (2021). Веганське м'ясо в Україні: підбірка рослинних аналогів м'яса, що присутні на українському ринку. Posteat. 2021. URL: <https://posteat.ua/position/veganske-myaso-v-ukra%D1%97ni-pidbirka-roslinnix-analogiv-myasa-shho-prisutni-na-ukra%D1%97nskomu-rinku/>

Continuation of table 3

1	2	3	4	5
Naturly	mince	814 kcal	proteins 18 g; fats 10 g; Carbohydrates 6.2 g.	Rehydrated Soy Protein/Isolate (58 %), Water, Coconut Oil, Soy Flour, Wheat Gluten, Almonds, Tomato, Fermented Dextrose, Tapioca Starch, Salt...
Eat Me At	mince	270 kcal;	proteins 15.4 g; fats 19.8 g; carbohydrates 7.6 g; salt 0.71 g; does not contain sugar.	drinking water, soy protein isolate, refined sunflower oil, coconut oil, potato protein, methylcellulose...
Dream Eat (кондитерська компанія АВК)	burger patties	260 kcal	fats 18.0 g; carbohydrates 5.0 g (of which 0.7 g); proteins 18.0 g.	drinking water, high-oleic sunflower vegetable oil, soy protein isolate, wheat gluten, starch, wheat fiber, 2 % or less: sea salt, gelling agents: carrageenan, konjac gum, sodium alginate; Natural flavors, fermented red rice, onion...
TM Vegetus	burger patties.	181,3 ккал	fats 8.5 g; carbohydrates 11.2 g (of which sugars 1.7 g); proteins 15.0 g; salt 1.62 g.	soy protein, wheat protein, rice flour, drinking water, corn starch, sunflower oil, coconut oil, spices (cumin, onion, pepper, smoked paprika), flavorings, hydrolyzed vegetable protein, vegetable fibers...
TM Yummy-Yummy	burger patties	250 kcal;	fats 20 g; proteins 18 g; carbohydrates 4 g; salt 0.8 g.	water, soy protein, vegetable oil, natural flavors, dye beet extract, methylcellulose...
Vegurman	dry pieces of white and red meat		fats 1.0 g; carbohydrates 20.0 g; proteins 58 g; salt 0.1 g.	edible soy flour, wheat gluten, soy protein isolate, edible salt, baking powder – sodium bicarbonate (baking soda)...
Dynameat	Cutlets	256 kcal	fats 16.2 g; carbohydrates 9.1 g; proteins 21 g; sugar 0 g; salt 0.9 g.	water, pea protein isolate, olive oil, onion, soy flour, methylcellulose stabilizer...
Bobinata	sold ready-made	247 kcal	fats 8 g; proteins 30 g; carbohydrates 14 g.	soy isolate, wheat protein, salt, sugar, baking soda, sunflower oil, natural dye «red rice», spices...
Wanted Vegan	Vegan minced meat	145 kcal	fats 6.45 g; proteins 15 g; carbohydrates 6.16 g, salt 1.2 g.	water, textured wheat protein (wheat, pea), refined sunflower oil, stabilizing system (legume protein, pea protein, methylcellulose, salt, «Chicken» flavoring, onion extract...

Meat substitutes are gaining popularity, and their assortment in Ukraine is gradually growing, although it has not yet reached the level of Western Europe or the United States. On store shelves you can find both vegetable analogues of meat and products based on mushrooms, legumes or soybeans.

Soy products are one of the most common meat substitutes. They are high in protein, low in fat, and cholesterol-free. In Ukraine, you can find soy meat in the form of minced meat, steaks, nuggets or sausages.

Mushrooms-based products (such as champignons, shiitake or mycelium) are becoming more and more popular. They have a natural meaty texture and absorb the flavor of spices and marinades well.

Plant-based meat based on legumes (peas, beans, chickpeas, lentils) is gaining popularity due to its high protein content and the absence of GMOs. Pea protein is especially popular in vegan burgers and sausages.

Seitan (wheat protein, “wheat meat”) is a high-protein product that resembles chicken or pork in texture. It can be used in dishes instead of meat.

Table 4

The main types of meat substitutes in Ukraine

Source: Author's research⁹

№	Type of meat substitutes	Advantages	Distributed Product	Popular brands in Ukraine	Challenges
1	2	3	4	5	6
1	Soy meat	high protein content, affordable price, long shelf life	minced meat, steaks, nuggets, sausages	Vega Foods, Naturli', Green Cow	some people avoid soy due to allergies, soy-based products may contain genetically modified organisms (GMOs)
2	Mushroom meat	natural product, contains a lot of fiber, has an «umami» taste similar to meat	mushroom burger patties, mushroom sausages and sausages	n/a	do not contain enough protein compared to other substitutes, perishable

⁹ Федевич А. (2021). Веганське м'ясо в Україні: підбірка рослинних аналогів м'яса, що присутні на українському ринку. Posteat. 2021. URL: <https://posteat.ua/position/veganske-myaso-v-ukra%D1%97ni-pidbirka-roslinnix-analogiv-myasa-shho-prisutni-na-ukra%D1%97nskomu-rinku/>

Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6
3	Vegetable meat based on legumes (peas, beans, chickpeas, lentils)	High protein content, free of soy and GMOs, mimics the texture of meat well	vegan burgers, sausages	Beyond Meat, Green Go, Eat Me At	High price compared to traditional meats, some foods contain many additives to improve texture
4	Seitan (wheat protein, «wheat meat»)	high protein content, absorbs spices and marinades well, has a meaty texture	seitan minced meat, seitan sausages	TM Vegetus	not suitable for people with gluten intolerance, not as common in Ukraine as soy meat

McKinsey & Company estimates that by 2030, the global market for meat substitutes could reach \$25 billion, and by 2040 it could account for 35 % of the entire meat market. The main factors driving the development of the meat substitute market are: – environmental friendliness (reduction of greenhouse gas emissions, reduction of water and land use);

- ethics (no need to slaughter animals);
- the growing demand for alternative proteins among vegetarians, vegans and people seeking a healthy diet. It is Ukraine that has a number of advantages that can contribute to the development of this direction:
- a powerful agricultural sector (sufficient land and water resources, extensive experience in food production);
- low cost of production (cheap agricultural products, sufficient labor resource, high qualification of employees);
- strong biotechnological base (powerful scientific base and innovative laboratories). However, so far there are no companies in Ukraine that specialize in meat substitutes, and the market itself is at the stage of discussing and saving potential investments. For the broad prospects of the meat substitute market in Ukraine, there are a number of obstacles that hinder the development of this direction, namely;
- high cost of technology (meat substitute is much more expensive than natural traditional meat);
- imperfection of the regulatory and legislative framework and the lack of state standards and certificates of quality and safety of the product;

- state regulation and control;
- insufficient number of investors (support for startups in the field of biotechnology, state and international grants); – poor consumer awareness and educational communications (explaining the benefits of meat substitutes through the media, social networks, advertising); – partnership with international companies and exchange of experience (cooperation with global manufacturers). Popular places to buy meat substitutes are supermarkets (“Silpo”, “ATB”, “MegaMarket”), health food stores and online platforms (e.g. Rozetka, Vegano, Ecoshop), etc. Among the problems of mass sale of plant-based meat in Ukraine is the high retail price. After all, such production uses the latest technologies, expensive resources and needs to be scaled, especially in the early stages. Competition will help reduce prices. It will also contribute to the emergence of even more innovative products (Table 5).

Table 5

Prices for meat producers analogues of Ukrainian

Source: Author's research¹⁰

Manu- facturer	Product	Price		Weight	Product Links
		2021	2024		
		UAH	UAH	G	
1	2	3	4	5	6
Beyond Meat	vegan burgers	250	315-610	2x113,5	https://vegetus.ua/beyond-meat-146 https://fermergreen.com.ua
	Minced meat vegetable		315,50	250	https://vegetus.ua/farsh-tempe-sejtan-103
Nestle- Garden Gour- met	vegetable cutlets	240		dish	https://www.nestle.ua/media/pressreleases/allpressreleases/nestl-garden-go96
Naturly	mince	187	225	400	

¹⁰ Федевич А.. Веганське м'ясо в Україні: підбірка рослинних аналогів м'яса, що присутні на українському ринку. Posteat. 2021. URL: <https://posteat.ua/position/veganske-myaso-v-ukra%D1%97ni-pidbirka-ros-linnix-analogiv-myasa-shho-prisutni-na-ukra%D1%97nskomu-rinku/>; «VEGETUS» Україна. 2020. Інтернет-магазин. <https://vegetus.ua/>; FermerGreen. Смачні та свіжі продукти від фермерів та крафтових виробників. 2024. <https://fermergreen.com.ua/>; Wanted Vegan. Просто.Рослинно. Смачно. 2024. URL: <https://wantedvegan.com/>

Continuation of table 5

1	2	3	4	5	6
Eat Me At	Minced vegetable	160	225	350	https://vegetus.ua/farsh-tempe-sejtan/farsheat-me-at-350g-6461.htm
	Vegetable superballs		187	225 (9 pcs)	https://vegetus.ua/farsh-tempe-sejtan/superboli-eat-me-at-225g-8313.html
Dream Eat (KK ABK)	burger patties	100	124	2x120 r	https://www.avk.ua/ua/uk/news/article/123
TM Vegetus	burger patties.	112,8	176	2x120 r	https://ecozaryad.com/product/kotleta-dlya-burdera-2h120g-tm-vegetus/
	Vegetable sausages		132	360	https://ecozaryad.com/product/so-sysky-roslynni-360-g-tm-vegetus/
Yummy-Yummy	burger patties	88		2x120 r	
Vegurman	dry pieces of meat	65 470		100 r 1000r	https://www.vegurman.ua/
	White Fillet Vegan Kebab Burgers		199 145,165	400 200,250	https://www.vegurman.ua/
Dynameat	Cutlets	140	160	2x110 r.	https://www.instagram.com/dynameat.co/
Bobinata	Ready	160		400	
Wanted Vegan	Vegan minced meat	180	160	230	https://wantedvegan.com/product/burger-roslynnij/
	Kiev cutlet		205	230	https://wantedvegan.com/product/kotleta-po-kyivsky-z-grybamy/
	Vegetable nuggets		185	230	https://wantedvegan.com/product/nagetsy-roslynni/
Meet not meat	Minced meat vegetable		240	500	https://vegetus.ua/farsh-tempe-sejtan/-meet-not-meat-500g-8354.html
Fineorganic	Minced plants. «Chicken»		279,20	400	https://vegetus.ua/farsh-tempe-sejtan/-fineorganic-400g-9334.html

Meat substitutes have huge potential for development in Ukraine, but this requires an integrated approach: state support, investments, educational campaigns and scientific research. If these conditions are met, Ukraine can not only become a consumer, but also a full-fledged competitive producer for the domestic and international markets.

Conclusions. The global food sector is undergoing revolutionary changes aimed at finding environmentally friendly and ethical alternatives to traditional animal husbandry. One of the most promising areas is meat substitutes. Ukraine, having a developed agricultural sector and scientific potential, can also take its place in this market. However, for the successful development of meat substitutes in the country, a number of challenges must be overcome, such as high cost, consumer mistrust, and the need to improve technology. Any innovation – meat substitutes has both advantages and disadvantages. Meat substitutes are becoming more and more available on the Ukrainian market, although so far their popularity is inferior to traditional meat products. They have many benefits – from health benefits to reducing the negative impact on the environment (Table 6).

Table 6

Meat substitutes: pros and cons of the product

Source: Author's research

Nº	Pros of meat substitutes	Cons of meat substitutes
1	Ecology	High cost
2	Humanity and no animal slaughter	Long-term effects on human health not studied
3	Ability to control the composition of the product	Psychological factor and consumer trust
4	Safety against animal disease	Power consumption
5	Food security	Texture and flavor problems

Taking into account global trends, we can expect that the range of meat substitutes in Ukraine will expand, and their cost will gradually decrease. This opens up new opportunities for the development of healthy and ecological nutrition in the country, which is one of the main directions of sustainable development of the state.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-124-138

РЯБІНІНА Ірина Миколаївна,

канд. філол. наук, доцент,

ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»

ORCID ID: 0000-0002-4170-654X

ЛИСЕНКО Наталія Василівна,

канд. філол. наук, доцент,

ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»

ORCID ID: 0000-0003-2371-448X

КОВАЛЬОВА Катерина Дмитрівна,

викладач,

Слов'янський коледж транспортної інфраструктури

ORCID ID: 0000-0002-4136-4260

Україна

МЕТОДИКА ПЕРЕКЛАДУ НЕНОРМАТИВНОЇ ЛЕКСИКИ ІНОЗЕМНОЇ ХУДОЖНЬОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Ненормативна лексика (також нецензурна лексика, обценна лексика, лихослів'я) – табуована (неприпустима) лексика, яку носії мови сприймають як відразливу, непристойну. У це визначення входять такі поняття, як вульгаризми, блюзнірство, прокльони й лайка. Така мова перебуває поза нормальним стилем спілкування. Ненормативна лексика є сегментом лайливої лексики різних мов, що включає невічливі, непристойні, вульгарні та лайливі вирази. Використання вульгаризмів має чіткі національні, культурні та соціальні ознаки й суттєво відрізняється в різних культурах та соціальних групах. Кожне суспільство визначає окремо належність слів до ненормативної лексики або вульгаризмів і формулює своє ставлення до них. У багатьох країнах світу існують закони, які обмежують використання нецензурної лексики в публічному житті, у ЗМІ тощо. Вульгаризми частіше вживаються в розмовній мові, ніж у літературній.

Сучасна література насичена творами «письменників», у яких ті безмірно вживають вульгаризми. На думку психолога Н. Мухітдінової, у новій

літературі наразі чимало так званих графоманів, робота яких в основному полягає писати твори аби писати, і таким чином відриватися від реальності. На думку дослідниці, така писанина є беззмістовною; нецензурна лексика тут виступає лише як спосіб привернути увагу читача. Зрозуміло, що в літературі може вживатися цілком адекватна лайка, як-от для підсилення емоційного ефекту чи змалювання образу героя, – але ненормативна лексика в літературних творах має місце лише тоді, коли сама творчість того чи іншого автора має цінність.

На нашу думку, перекладач має володіти певними компетентностями, а саме: уміло володіти традиційними перекладацькими трансформаціями, екстралінгвальними та лінгвокраїнознавчими знаннями (як мови-оригіналу, так і вихідної мови-перекладу), а також навичками художнього відтворення тексту. Такий набір необхідних умінь і навичок у своєму синтезі дає можливість інтерпретувати та адаптувати оригінальний текст твору так, що результат перекладу відповідатиме за змістом та прагматикою оригінальним реплікам героїв роману, при цьому переклад залишатиметься максимально природним за звучанням для лінгвокультури читача. Навіть за умови володіння таким мінімальним, але важливим набором компетенцій, перекладач в умовах сучасних реалій нерідко зіштовхується зі значною кількістю підводних каменів. І не зайвим було б разом із впровадженням Закону України від 25 квітня 2019 року «Про забезпечення функціонування української мови як державної» сформувати й чітко регламентувати основні вимоги та критерії для процесу художнього перекладу, що значно б полегшило роботу перекладача та покращило б якість україномовного перекладу іноземної художньої літератури.

Існує декілька підходів до методики перекладу ненормативної лексики. Так, дослідник А. Федоров у своєму лінгвістичному нарисі «Основи загальної теорії перекладу» пропонує два основні напрямки у вирішенні проблем перекладознавства, – такі, як загально-лексикологічні та граматичні питання перекладу. Водночас учений розглядає особливості перекладу різних стилів мови, де досить детально подає лінгвістичні питання, пов'язані з інтерпретацією текстів художньої літератури. Цікавою для нас виявилася та думка, що при перекладі арготизмів та просторіччя (а ненормативну лексику можна умовно віднести до цієї категорії – авт.) перекла-

дач повинен відтворити їх на такому ж стилістичному рівні, не вдаючись до заміни на більш літературні, книжкові слова та вирази. Автор наголошує, що в перекладі, у якому діалектизми, арготизми або загальнопросторічні елементи оригіналу відтворено з порушенням авторського задуму, і в якому припускаються суто літературних слів або словосполучень, неможливо досягти відтворення стилістичного забарвлення та цілісності оригіналу. Також А. Федоров вважає, що хоча як на практиці, так і в теорії, приперекладі особлива увага надається лексиці, не меншого значення можуть набувати граматичні засоби, які здатні відтворити стилістичне забарвлення просторіччя, зокрема суфікси суб'єктивної оцінки, синтаксичні зсуви тощо.

У праці «Слово про переклад» В. Комісарова ми знаходимо інший підхід до проблем перекладу і теорії, які, на нашу думку, більш повно охоплюють низку проблем, що виникають при перекладі. Перевагою є те, що автор розглядає питання перекладознавства не лише в мовному аспекті, а й висуває теорії, пов'язані з комунікативною функцією. Корисним стає те, що останній підхід можна застосовувати й відносно до ненормативної лексики, оскільки вона часто з'являється в прямій мові та виконує безпосередньо комунікативну функцію.

Прагматичні аспекти перекладу висвітлено в дослідженні О. Швейцера «Теорія перекладу: статус, проблеми, аспекти». Цікавими є його спостереження щодо еквівалентності та адекватності перекладу, що пояснюють сам процес перекладу та можливі критерії його оцінки як результату.

На нашу думку, досить вдалий підхід до класифікації моделей перекладу пропонує З. Львовська в роботі «Теоретичні проблеми перекладу». Покеровуючись принципом зв'язку між мовними значеннями та змістом мовленнєвої діяльності, усі існуючі теорії перекладу дослідниця поділяє на два основні типи: мовні та комунікативні, припускаючи при цьому належність деяких теорій до так званих перехідних випадків. Оскільки вульгаризми є тим прошарком лексики, що безпосередньо пов'язані з людським спілкуванням, ми хотіли б насамперед детальніше зупинитись на комунікативних моделях перекладу. До цієї категорії дослідниця відносить теорію динамічної еквівалентності й теорію рівнів еквівалентності, і, зважаючи на те, що ненормативна лексика несе на собі чітке експресивно-емотивне позначення, теорія динамічної еквівалентності

видається нам досить вдалою для застосування її при перекладі текстів, які містять нецензурні слова та вирази. Водночас автор зазначає, що динамічна модель перекладу включає низку структурних, семантичних і функціонально-стилістичних обмежень, що звужують вибір і визначають напрямок перекладацьких перетворень. І серед цих обмежень на-самперед вичленовуємо експресивні та металінгвістичні характеристики тексту оригіналу, його жанрово-стилістичні особливості, частотність уживання тієї чи тієї лексичної одиниці в мові перекладу в межах відповідного стилю тощо.

Зовсім іншою теорією комунікативних моделей перекладу є теорія рівнів еквівалентності, уперше запропонована В. Комісаровим, яка ґрунтується на ідеї про те, що план змісту мовленнєвого твору має свою «багатшарову» структуру, і в ньому можна виділити певні рівні та встановити між ними ієрархічні зв'язки: 1) мета комунікації, тобто інтенція, яка вкладається автором у мовленнєвий твір. Надалі йдуть чотири рівні, що підпорядковуються один одному та меті комунікації; 2) рівень опису ситуації (інформація про матеріальні та ідеальні об'єкти дійсності та зв'язки між ними); 3) рівень (структури) повідомлення (тобто вибір одного з можливих синонімічних способів опису ситуації дійсності); 4) рівень висловлювання (лінійна низка в особливий спосіб відібраних знаків, що об'єднуються за будь-якими правилами та розташовуються в певному порядку) та 5) рівень мовних знаків (слів).

За цією теорією процес перекладацької діяльності відбувається в такий спосіб: 1. На етапі аналізу висловлювання оригіналу перекладач проходить шлях знизу вгору (від знаків до мети комунікації, послідовно з'ясовуючи всі рівні змісту). 2. На етапі синтезу висловлювання на мові перекладу перекладач проходить всю ієрархію рівнів у зворотному порядку, послідовно перевіряючи, чи не визначає однозначно кожний рівень змісту остаточний варіант перекладу. Якщо виявляється, що якийсь рівень вимагає обов'язкового вжитку певних форм, перекладач обирає варіант на мові перекладу, так би мовити, незалежно від оригіналу.

Також дослідники-лінгвісти визначають такі три основні групи перекладацьких трансформацій, які, у свою чергу, містять різні способи та техніки перекладу: 1. *Лексичні трансформації*: лексичне запозичення (техніка: Transkription, Transliteration); лексична заміна (техніка: Substitution –

переклад за допомогою мовного відповідника); лексичні структурні зміни (зміна словотворення). 2. *Граматичні трансформації*: (дослівний переклад; перестановка; зміна в середині конструкції; додавання; скорочення; заміна в середині категорії; транспозиція. 3. *Семантичні трансформації*: семантичне запозичення (вербалізація одних і тих же змістових елементів речення через їх абсолютні мовні еквіваленти); модуляція; розширення; звуження; мутація.

В англійській мові, на відміну від української, відсутній суворий поділ на прийнятні нецензурні слова й категорично заборонені, унаслідок чого ускладнюється розуміння про порушення етичних норм при використанні вульгарних лексичних одиниць. Лінгвістичні дослідження свідчать, що ненормативна лексика становить 0,5–0,7 % від усіх слів, що використовуються носіями мови щодня. Відсоток використання вульгаризмів вважається високим, якщо розглядається в порівнянні з частотністю вживання інших мовних одиниць. Так, займенники *our*, *us*, *we* становлять 1 % від усіх слів щоденного вживання, і цю статистику підтверджено дослідниками, які вказують на те, що кожне 14-те слово або вираз в англійській мові має різко знижену стилістичну тональність. Крім того, 50 % усіх слів, що використовуються громадянами США в громадських місцях, – це лексеми *shit* та *fuck*.

Відзначимо, що визначення частотності вживання лексичної одиниці в тій чи тій мові є важливою частиною лінгвокультурного аналізу, бо кількість контекстів використання визначає функціональну значущість досліджуваної мовної одиниці. Отже, задля збереження репрезентативності під час перекладу вульгаризмів необхідно добирати такий варіант відповідності, що в мові перекладу вживатиметься в такій кількості контекстів, як і вихідна лексема в мові оригіналу. Також із найбільш поширених перекладів, зазначених В. Жельвісом, лексичних одиниць *shit* і *fuck* – це лайно і ***ебать. Перш ніж скористатися поданими варіантами, перекладач повинен визначити екстралінгвістичний контекст ситуації, знайти інформацію про героя твору, бо ці компоненти образу джерела висловлювання є його індивідуальними особливостями, які формують його культурне тло.

Отже, щоб обрати варіант, який найбільше підходить за змістом, необхідно перевірити частоту вживання знайденої лексеми в мові перекла-

ду. Один із найпростіших способів визначення частотності використання мовної одиниці – постановка запиту в пошуковій системі в лапках. Наприклад, результати пошуку контекстів вживання вульгаризму «лайно» показують, що ця мовна одиниця використовується в мережі «Інтернет» 9 840 000 разів. Англійське *shit* використовується в 525 000 000 контекстах. Отже, можна дійти висновку, що «лайно» має вулчу сферу вживання, що має бути враховано під час перекладу.

У такий спосіб у сучасному світі збільшується кількість вульгаризмів, які використовуються в медіадискурсі та кіноіндустрії. Це пояснюється зниженням рівня цензури в Інтернет-просторі. Але кожна мова унікальна, у зв'язку з чим має відмінну від інших траєкторію розвитку. Так, поняття нецензурної лексики в українській та англійській мовах відрізняються наявністю розмежованості вульгаризмів за ступенем забороненості в першому та відсутністю чітких меж для поділу даних лексем за стилістичною тональністю в другому. Крім того, частотність уживання семантично вульгарних лексем з однаковим денотатом, як правило, відрізняється в українській та англійській мовах, що необхідно враховувати під час перекладу.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-139-144

Olena BEREZINSKA,
senior lecturer
of the Department of Foreign
Languages for professional communication
of the International Humanitarian University
ORCID ID: 0000-0001-8542-4600
Odessa, Ukraine

USING THE VOICE AS A COMMUNICATION TOOL

English has become one of the most popular languages in the world, and this is due to several key reasons. Firstly, English is the official language of many influential countries, including the United States of America, Great Britain, Canada, and Australia. This language is used in politics, business, science, and culture, making it a language of international communication. Secondly, the English language is widely used in information technologies and the Internet,

providing access to it for billions of people around the world. The growing role of English as a means of communication for people who went abroad during the war increases the interest of linguists in further research into solving practical problems of mastering English as a means of communication.

In addition, a large number of educational materials and resources for learning English helps those who want to improve their knowledge, open up new opportunities for work and international communication. English is becoming important and practical for learning and building a career.

Learning a new language is not an easy task, and many people who know several languages can't get rid of the accent that makes them look like a foreigner. An accent is a particular way of pronouncing sounds, words, or phrases that differs from the generally accepted pronunciation standard in a language. It can be a difference in the pronunciation of sounds, stress, intonation, or rhythm of speech. Some of the most common accents include American, British, Australian, Canadian, Irish and others. Each of them has its own characteristics in pronunciation, intonation and accentuation of words. Interference phenomena in the process of communication can cause inaccuracies in understanding or distortion of content. Therefore, the issues of analyzing the problems of phonetic interference and investigating the possibilities of overcoming it are of particular importance, which determines the relevance of the study.

The UK is known for its variety of accents, including London, Liverpool, Scottish and others. For example, the London accent can be very distinctive and is known for its pronunciation of certain loud sounds. The British accent has several characteristics, including an emphasis on loud sounds, no unstressed sounds at the end of words, and distinct intonation, which can vary more depending on the region.

The problems of interlingual interference were studied by such researchers as Valigura O. R., Dem'yanenko O. V., Kulchytska N. O., Shablii O. A., etc. Linguists considered the problem of interference within the framework of language contacts, when a person who speaks two languages violates the rules of the relationship between these languages. For the first time in this sense, the phenomenon of interference was used by scientists of the Prague Linguistic Circle. I. O. Baudouin de Courtenay was one of the first to understand interference as "convergent restructuring of languages during contacts". He assumed that languages mutually influence each other, resulting in not only borrowing of lin-

guistic units, but also the convergence of languages as a whole. An important contribution to the study of the phenomenon of interference was made by L. V. Shcherba, who argued in his works that due to the interaction of languages, the norms of contacting languages change.

The term “linguistic interference” gained wide recognition after the publication in 1953 of the monograph “Language Contacts” by the American linguist Uriel Weinreich, based on his dissertation. According to Weinreich, linguistic interference occurs in the process of language contact between people who know more than one language, as a result of which there are cases of deviation from the norms of any of the languages¹.

New research from the University of Birmingham, with collaboration from Cardiff University and the University of Novi Sad (Serbia), has examined how “acceptable” people find grammatical errors they hear, factoring in whether the speaker has a foreign accent or not, and the personality of the listener. The study, published 24 September in the “Journal of Multilingual and Multicultural Development”, found that in most cases people tend to be more tolerant towards someone with the foreign accent for making grammatical errors². Study shows how accent and grammar interact in spoken English.

Professor Dagmar Divjak, a leading expert in cognitive linguistics from the University of Birmingham, explained the relevance of the research in today’s multicultural environment, where English is increasingly used as a *lingua franca* – a language used as a means of interethnic communication.

Learning a foreign language involves transferring ideas about a more familiar system to the new system being learned. And this, in turn, can be explained by the property of our consciousness to use what has already been acquired, to recognize objects or phenomena by comparing them with previously known ones, to establish similarities and differences between them, and to select specific features. Therefore, in the linguistic consciousness of a person, certain features of a non-native language are mistakenly likened to features of the native (or main) language, as a result of which interference of two language systems occurs. E. Haugen also pointed out that the phenomena of interference arise as a result of the perception of other languages through the prism of the native

1 Нікішина В.В. Проблеми звукової інтерференції у професійно орієнтованому перекладі. Молодий вчений. № 4.3 (68.3), квітень, 2019. С. 80–83.

2 Journal of Multilingual and Multicultural Development. Volume 24, № 5, 2003.

language³. The sounds of a foreign language are more effectively perceived by the native phonetic system, familiar to the recipient.

Pronunciation accent as a result of phonetic interference arises as a result of the unconscious transfer of phonetic concepts-prototypes of the primary language into the structure of the secondary language, and the degree of its manifestation depends not only on the differences in the articulatory bases of the languages under study, the features of the phonetic system of the primary language, but also on cognitive factors, such as the mentality, knowledge and linguistic ability of a person⁴.

The researchers asked 60 first language British English speakers, 30 men and 30 women, recruited in Birmingham, to listen to 40 recordings of short passages in English, with or without grammatical errors in either a British or foreign accent. The poor grammar versions had different types of article errors, such as the omission or overuse of definite and indefinite articles («the» or «a/an») or the substitution of one for the other as in «I enjoy Edinburgh Fringe Festival» or «We celebrate the Christmas» or «We exchanged the wishes.» The 40 passages were read aloud by two British and two Polish speakers, one female and one male, at a natural speed.

The participants were then asked to rate on a scale of 1-100 how the language sounded to them, 1 being “this is not how I would express myself in English,” and 100 being “this is pretty much how I would put it myself,” and how easy it was to understand the speaker, 1 being “very difficult” and 100 “very easy.” The participants also filled out a questionnaire to report their personality traits in terms of conscientiousness, extraversion, agreeableness, openness, and neuroticism.

The research found that the article errors were more detrimental in the British accented speech than in the Polish accented speech. Dr Hui Sun, a lecturer in language and communication at Cardiff University, said this could be because grammatical errors in native-speaker accents are more noticeable to listeners⁵. The scientists’ work has shown that speakers of foreign accents are more le-

3 Кузнєцова Т.В. Теорія інтерферентних явищ як основа визначення суржиків. *Культура народів Причорномор'я*. 2004. № 49, Т. 1. С. 233-235.

4 Валігура О. Р. Специфіка породження фонетичної системи англійського мовлення українців. *Здобутки та перспективи розвитку сучасного мовознавства : міжнародний збірник наукових праць, присвячений 70-річчю ювілею проф. Алли Андріївни Калити*. 2015. С. 27-32.

5 Hui Sun, Peter Colovic, Peter Milin, Dagmar Divjak. L1 listeners' evaluations of LX speech: the role of listener expectations and personality traits. *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, 2024; 1 DOI: <https://doi.org/10.1080/01434632.2024.2402489>

nient towards grammatical errors than native speakers, which may be due to the understanding that these people are learning English as a second language. The personality traits of the listeners influenced the acceptability ratings, with clear linear effects of conscientiousness: the more conscientious you are, the less acceptable you find foreign accented speech, regardless of the presence of grammatical errors. Other personality types showed a more complex, nonlinear pattern. The researchers say the findings could have practical applications, such as in teaching English as a second language and in understanding how decisions are made based on accent in interviews, such as job interviews.

It is important to note that scientists distinguish between interference during the perception of speech in a non-native language and interference during speaking in this language. Experimental studies have established that when listening to non-native speech, sound features that are not inherent in the phonological structure of the native language are not distinguished. In the process of speaking a non-native language, “under-differentiation” or “over-differentiation” of a certain articulatory feature is also imposed by the phonological structure of the native language⁶. At the same time, many researchers are inclined to believe that the phenomena of interference appear primarily at the level of speech, at the level of generating utterances, at the level of implementing those linguistic resources that a bilingual possesses, which undoubtedly makes interference a linguistic phenomenon⁷.

These findings have important implications for language education and assessment in general. Professor Divjak suggested that English language teaching should focus less on strict grammatical accuracy and more on meaningful communication, especially for those who intend to use English as a tool in multicultural or international environments. Furthermore, being aware of one’s own biases can improve communication and increase inclusivity, especially in formal scenarios such as interviews⁸.

According to the latest findings by scientists, an accent has a number of advantages and protects us. On the one hand, an accent can add charm. Even if

6 Дем’яненко О. Є. Фонетична інтерференція під час взаємодії звукових систем рідної, нерідної та іноземної мов. *Наука і освіта: наук.-практ. журнал*. 2005. № 1-2. С. 110-112.

7 Кузнецова Т.В. Теорія інтерферентних явищ як основа визначення суржиків. *Культура народів Причорномор’я*. 2004. № 49, Т. 1. С. 233-235.

8 Divjak Dagmar, Gries Th. Gries. *Corpus-based Cognitive Semantics. A Contrastive Study of Phasal Verbs in English and Russian* / Dagmar Divjak and Stefan Th. Gries // Barbara LewandowskaTomaszczyk and Katarzyna Dziwirek (eds.). *Studies in Cognitive Corpus Linguistics*. Frankfurt/Main: Peter Lang, 2009. P. 273-296.

the pronunciation is far from ideal, you can still be sure that many will appreciate the fact that a foreigner has decided to master the local language. Secondly, upon hearing the accent, representatives of the local population will certainly want to help: they will explain in detail how and where to go, tell you how to better navigate the city, etc. Thirdly, many mistakes will be forgiven because the majority of the local population will treat foreigners leniently.

Of course, the presence of an accent will also have unpleasant features. And sometimes they will significantly outweigh all the advantages of even the most beautiful accent. When getting acquainted, the following questions will be asked: “Where are you from?”, “How long have you lived here when you arrived?”, “Do you like it here?”, “When did you start learning the language?” “Where did you learn the language?”, which after some time will cause persistent irritation.

Use your voice as a communication tool, master face-to-face workplace interaction, foster positive relations on the job, and accept as well as provide constructive criticism gracefully.

- In-person communication is the richest communication channel; use your voice effectively by honing your pronunciation, voice quality, pitch, volume and rate, and emphasis.
- To excel in face-to-face conversations, use correct names and titles, choose appropriate topics, be positive, listen to learn, give sincere praise, and act professionally in social situations.
- When receiving criticism, avoid interrupting, paraphrase what you are hearing, agree if the criticism is accurate, disagree respectfully, look for compromise, and learn from criticism.
- When criticizing, plan your remarks, do it in person, focus on improvement, offer help, be specific, use the word *we*, encourage two-way communication, stay calm, and keep it private.

In the course of the investigation, it was established that phonetic interference leads to accent in foreign language, while phonological interference can lead to distortion of accent under the hour communications. At the same time, interference is expected to lie both in the level of sparsity of the phonological systems of language, and in the individual characteristics of the communicant, his language competence.

Pedagogical sciences



ЧКАНА Ярослав Олегович,
канд. пед. наук, доцент,
Сумський державний педагогічний університет
імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0003-3667-3584
Україна

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ
КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ
В УМОВАХ НУШ**

У сучасному освітньому просторі України, який динамічно трансформується під впливом соціокультурних, інформаційних та технологічних змін, особливе значення набувають питання переосмислення цілей і змісту шкільної освіти. Впровадження Концепції Нової української школи (НУШ) актуалізувало необхідність не лише оновлення освітніх стандартів, але й переорієнтації самої філософії навчання на засадах компетентнісного підходу. Центральною ідеєю цієї парадигми є формування в учнів ключових компетентностей, які забезпечують їхню готовність до життя в умовах невизначеності, постійних змін та складних життєвих викликів. Однією з таких компетентностей, що пронизує всі сфери освітньої діяльності, є критичне мислення.

Критичне мислення у сучасному його трактуванні постає не як вузька логічна навичка, а як комплексна здатність особистості до осмислення інформації, формулювання власних суджень, аргументації позиції, прийняття рішень та рефлексії. Його розвиток вимагає застосування гнучких, дослідницьких, проблемно-орієнтованих методів навчання, що сприяють активному залученню учнів до пізнавального процесу. У цьому контексті надзвичайно перспективним є використання математичного моделювання – як методу, що поєднує логічність, аналітичність, креативність і практичну спрямованість математичної діяльності.

Математичне моделювання не обмежується відображенням реальності мовою чисел і формул. Це – засіб пізнання, що формує у школярів здатність бачити проблему у контексті, виокремлювати суттєві зв'язки, будувати моделі ситуацій, перевіряти гіпотези, інтерпретувати отримані результати. Саме ці інтелектуальні процедури є суттєвими компонентами критичного мислення. Крім того, моделювання інтегрує знання з різних галузей, сприяє міжпредметним зв'язкам, що, у свою чергу, відповідає стратегічному завданню НУШ – навчити учня застосовувати здобуті знання в життєвих ситуаціях.

У статті¹ автори підкреслюють, що математичне моделювання сприяє розвитку критичного мислення, оскільки вимагає аналізу реальних проблем, формулювання припущень, побудови моделей, перевірки гіпотез та оцінки результатів. В роботі² досліджується, як математичне моделювання сприяє розвитку критичної математичної свідомості у студентів, що включає усвідомлення соціальних аспектів математичних моделей та їх впливу на суспільство. Дослідження³ виявило, що метакогнітивні навички позитивно впливають на математичне моделювання через розвиток критичного мислення. У статті⁴ зазначається, що майбутні вчителі математики часто мають недостатні навички критичного мислення та моделювання, що впливає на їхню здатність ефективно викладати ці концепції учням. Дослідження⁵ виявило, що майбутні вчителі математики часто зосереджуються на математичних аспектах завдань, нехтуючи реалістичністю ситуацій, що знижує ефективність навчання моделюванню. Дослідження⁶ також показало, що навички математичного моделювання учнів залежать від багатьох факторів, включаючи креативність,

- 1 Gutiérrez J. A., Gallegos R. R. Theoretical and methodological proposal on the development of critical thinking through mathematical modeling in the training of engineers. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. 2019. P. 941 – 948.
- 2 Lopes A. P. C. Mathematical modelling: a methodology favourable to the manifestation of critical mathematics consciousness. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2024. P. 1–30.
- 3 Zhang J., Zhou Y., Jing B., Pi Z., Ma H. Metacognition and Mathematical Modeling Skills: *The Mediating Roles of Computational Thinking in High School Students*. *Journal of Intelligence*. 12(6). 55. 2024.
- 4 Kannadass P., Hidayat R., Siregar P. S., Husain A. P. Relationship Between Computational and Critical Thinking Towards Modelling Competency Among Pre-Service Mathematics Teachers. *TEM Journal*. 2003. 12(3). P. 1370–1382.
- 5 Hwang S., Han S. Pre-service mathematics teachers' competencies in designing mathematical modeling tasks. *J Math Teacher Educ*, 2025.
- 6 Xiaoli L., Kaiser G. Creativity in students' modelling competencies: Conceptualisation and measurement. *Educational Studies in Mathematics*, 109. 2022. P. 287–311.

кооперативність, алгоритмічне мислення, вирішення проблем та критичне мислення. Емпіричні дослідження⁷ математичного моделювання та критичного мислення вказують на динамічну взаємодію між цими двома конструктами, виділяючи різні способи, якими вони доповнюють та підтримують одне одного. В роботі⁸ визначено кілька ключових факторів, які слід враховувати для максимізації взаємодії між мисленням вищого порядку та процесом математичного моделювання, серед яких контекст і структура завдань на математичне моделювання, дії вчителя під час процесу моделювання, досвід учнів, навчальні елементи та характер етапів процесу моделювання.

Попри визнаний потенціал математичного моделювання як інструменту формування критичного мислення, у вітчизняній педагогічній теорії та практиці ця проблема ще не отримала належного методичного обґрунтування. Досі відсутні систематизовані підходи до впровадження моделювання як засобу розвитку критичного мислення в освітній процес. Серед основних труднощів слід відзначити недостатню підготовку педагогів до реалізації таких методів, обмеженість часу на уроках, а також дефіцит навчально-методичного забезпечення, адаптованого до вікових і когнітивних особливостей учнів.

У межах цієї статті здійснюється спроба висвітлити теоретико-методологічні засади використання математичного моделювання як засобу розвитку критичного мислення школярів в умовах реалізації ідей Нової української школи. Особливу увагу приділено аналізу сутнісних характеристик критичного мислення, розкриттю потенціалу математичного моделювання в освітньому процесі, а також формулюванню практичних підходів до підготовки майбутніх учителів математики до роботи в нових педагогічних умовах.

Таким чином, дослідження окресленої проблеми є не лише актуальним, а й стратегічно необхідним для оновлення змісту математичної освіти відповідно до вимог сучасного суспільства, яке потребує критично мислячих, гнучких, ініціативних і відповідальних громадян.

7 Czocher J.A. How does validating activity contribute to the modeling process? *Educational Studies in Mathematics. Educational Studies in Mathematics*. 99, 2. 2018. P. 137-159

8 Ulker D, Celik A.O. A qualitative metasynthesis: Interaction between mathematical modeling and higher order thinking. *Thinking skills and creativity*. 56. 2025.

I. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ

1.1. Сутність математичного моделювання та його освітній потенціал

У сучасній математичній освіті однією з провідних тенденцій є посилення прикладної спрямованості навчального змісту, що зумовлює необхідність активного впровадження методів, які забезпечують не лише засвоєння теоретичного матеріалу, а й формування здатності до застосування математичних знань у реальних контекстах. Одним із найбільш ефективних методів математичного пізнання дійсності та формування математичної компетентності є метод математичного моделювання⁹.

Математичне моделювання передбачає дослідження реальних об'єктів, процесів чи явищ шляхом побудови та аналізу відповідних математичних моделей¹⁰. Як зазначає В.О. Швець, математична модель – це опис реального об'єкта, процесу чи ситуації мовою математичних понять, формул і відношень, а саме моделювання – метод наукового дослідження, що ґрунтується на використанні таких моделей як засобу аналізу¹¹.

У загальному вигляді математична модель становить наближений опис певного класу явищ, виражений мовою відповідної математичної теорії – через алгебраїчні, диференціальні чи інтегральні рівняння, нерівності або їхні системи, системи геометричних об'єктів тощо. Створення таких моделей потребує не лише глибокого розуміння предметної галузі, а й здатності до абстрагування, формалізації, логічного мислення, що є фундаментальними компонентами критичного мислення.

Процес математичного моделювання є поетапним і включає такі основні стадії¹²:

1. *Побудова математичної моделі* – передбачає пошук потрібної математичної мови та засобів для опису реальної ситуації, формулювання припущень і створення математичного образу досліджуваного об'єкта.

9 Махней О.В. Математичне моделювання : навчальний посібник. Івано-Франківськ, 2015. 372 с.

10 Математичне моделювання. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Математичне_моделювання (15.05.2025)

11 Швець В.О. Математичне моделювання як змістова лінія шкільного курсу математики. Дидактика математики : проблеми і дослідження : міжн. зб. наук. робіт. Донецьк, 2009. № 32. С. 16-23.

12 Maas K. What are modelling competencies? ZDM – Mathematics Education, 38, 2006. P. 113–142.

2. *Дослідження моделі* – полягає в аналізі її властивостей, перевірці внутрішньої логіки, використанні відповідних математичних методів і засобів для вивчення її поведінки в заданих умовах.
3. *Розв’язання задачі* – включає пошук і обґрунтування способу розв’язання, порівняння альтернатив, вибір найраціональнішого підходу.
4. *Інтерпретація результатів* – передбачає переклад математичних результатів у контекст вихідної ситуації, перевірку відповідності моделі реальності, її оновлення чи заміну в разі необхідності.

Математичне моделювання є не лише засобом теоретичного аналізу, а й методом формування цілісного світогляду, що базується на взаємозв’язку між абстракцією й реальністю, логікою й інтуїцією, знанням і практикою¹³. Саме це визначає його виняткову освітню цінність.

До ключових елементів освітнього потенціалу математичного моделювання належать¹⁴:

- інтеграція теоретичних знань і практичних навичок, що сприяє глибшому осмисленню матеріалу й формуванню здатності до практичного застосування знань;
- розвиток аналітичного та системного мислення, необхідного для вирішення комплексних проблем;
- формування здатності до абстрагування, узагальнення, формалізації, що є складовими критичного мислення;
- стимулювання креативності та інноваційного підходу до задач, які не мають єдиного розв’язку;
- забезпечення міждисциплінарних зв’язків, що розкриває інтегративний потенціал математики в освітньому процесі.

Особливу увагу заслуговує те, що математичне моделювання створює когнітивне середовище для розвитку критичного мислення, оскільки потребує самостійного пошуку способів розв’язання, вміння ставити запитання, формулювання припущень і гіпотез, оцінювання результатів і рефлексії щодо доцільності обраного підходу. В умовах реалізації концепції НУШ ці якості набувають стратегічного значення, адже сприяють вихованню учнів, здатних до відповідального прийнят-

13 Волошена В. В. Математичне моделювання в процесі формування практичних компетентностей учнів. *Pedagogy and Psychology*. Vol. 5, 2013. С. 64–67.

14 Lopes A. Mathematical modelling: a methodology favourable to the manifestation of critical mathematics consciousness. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 2024. P. 1–30

тя рішень, обґрунтування власної позиції, творчої діяльності в умовах невизначеності.

1.2. Критичне мислення як ключова компетентність у парадигмі НУШ

У сучасному освітньому дискурсі поняття критичного мислення дедалі частіше розглядається як фундаментальна когнітивна здатність, що має інтегральний характер і безпосередньо впливає на якість навчання, здатність учнів до самостійного опрацювання інформації, прийняття обґрунтованих рішень та їх аргументацію. У рамках Нової української школи (НУШ) критичне мислення визначається як одна з ключових наскрізних компетентностей, що формується у процесі засвоєння кожного освітнього компонента і є необхідною умовою реалізації компетентнісного підходу¹⁵.

Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» на період до 2029 року наголошує на необхідності формування «здатності учнів критично мислити, самостійно здобувати інформацію, оцінювати її та використовувати для вирішення проблем»¹⁶. Водночас у Державному стандарті базової середньої освіти критичне мислення розглядається як наскрізна здатність, яка є складовою ключових компетентностей, зокрема, уміння навчатися впродовж життя, ініціативності й підприємливості, екологічної та громадянської відповідальності, а також математичної компетентності¹⁷.

У психологічно-педагогічній літературі критичне мислення визначається як складний інтелектуальний процес, що включає в себе вміння аналізувати, синтезувати, порівнювати, класифікувати, інтерпретувати й оцінювати інформацію, формулювати аргументовані висновки та ухвалювати обґрунтовані рішення¹⁸. Цей процес базується на логічному мисленні, самостійності суджень і рефлексивності.

До основних характеристик критичного мислення відносять¹⁹:

15 Нова українська школа: посібник для вчителя / за заг. ред. Н. М. Бібік. Київ : Літера ЛТД, 2019. 208 с.

16 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-%D1%80#Text> (15.05.2025)

17 URL: <https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/nova-ukrainska-shkola-2/derzhavniy-standart-bazovoi-serednoi-osviti> (15.05.2025)

18 Пометун О.І. Критичне мислення як педагогічний феномен. *Український педагогічний журнал*. 2018. № 2. С. 89–98.

19 Pintrich P. R. The Role of Metacognitive Knowledge in Learning, Teaching, and Assessing. *Theory Into Practice*. 2002. 41, 4. P. 219–225.

- аналітичність та логічність (здатність структурувати інформацію, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, робити обґрунтовані висновки);
- рефлексивність та самокорекцію (усвідомлення власного способу мислення, здатність його переглядати і вдосконалювати);
- об'єктивність та неупередженість (уміння відокремлювати факти від суджень, оцінювати інформацію незалежно від власних упереджень);
- системність та послідовність (вміння логічно й послідовно викладати думки, узгоджувати окремі частини аргументації);
- відкритість до нових ідей та альтернативних точок зору (готовність переглядати власні позиції в разі переконливих контраргументів);
- обґрунтованість суджень та висновків (використання перевірених джерел, логічної аргументації, посилання на факти).

Розвиток критичного мислення в освітньому процесі передбачає створення таких навчальних ситуацій, які вимагають від здобувачів освіти не лише відтворення знань, а й активного їх застосування в нових контекстах, розв'язання проблем відкритого типу, формування та аргументацію власної позиції. Такий підхід повністю узгоджується з принципами компетентнісного навчання, відповідно до яких знання мають бути не самоціллю, а засобом формування життєвих компетентностей.

У цьому контексті математична освіта має потужний потенціал для розвитку критичного мислення²⁰, особливо в умовах активного впровадження методів дослідження, проектного навчання, математичного моделювання. Останнє, зокрема, не лише сприяє формуванню математичної компетентності, а й створює умови для розвитку навичок аналізу, синтезу, логічного структурування інформації, оцінювання припущень і результатів – тобто всього комплексу дій, що становлять основу критичного мислення.

Таким чином, критичне мислення в умовах реалізації НУШ постає не просто як одна з цілей навчання, а як мета-вміння, що визначає якість навчального процесу загалом і забезпечує здатність учнів бути активними, відповідальними, свідомими учасниками освітнього й соціального середовища.

20 М. Астаф'єва, В. Прошкін, С. Радченко. Формування критичного мислення майбутніх учителів математики засобами геометрії. *Освітлогічний дискурс*, 2018, № 1-2 (20-21). С. 100-115.

1.3. Системні взаємозв'язки між математичним моделюванням та критичним мисленням

У контексті сучасної парадигми освіти, зорієнтованої на формування ключових компетентностей, математичне моделювання і критичне мислення виступають взаємопов'язаними інтелектуальними процесами, які доповнюють і підсилюють одне одного. Їхня взаємодія не є випадковою або поверховою – вона має глибоку структурну та функціональну природу, яка реалізується на різних рівнях пізнавальної діяльності суб'єкта навчання.

На *методологічному рівні* обидва процеси базуються на аналітико-синтетичному підході до розв'язання проблемних ситуацій. Як математичне моделювання, так і критичне мислення вимагають від учня або студента здатності до системного аналізу, виявлення суттєвих ознак і факторів, встановлення причинно-наслідкових зв'язків, постановки гіпотез та їх перевірки. В обох випадках навчальний суб'єкт виступає не просто споживачем інформації, а її активним інтерпретатором і трансформатором.

На *процесуальному рівні* спостерігається безпосередня кореляція між етапами математичного моделювання та етапами критичного мислення. Зокрема, етап постановки проблеми у моделюванні відповідає етапу ідентифікації й аналізу ситуації в критичному мисленні; формалізація задачі – оцінці інформації, пошуку релевантних доказів; математичне розв'язання – логічному аналізу альтернатив, пошуку аргументів; інтерпретація результату – формулюванню висновків і прийняттю рішення. Така структурна паралельність створює передумови для інтеграції навчального контенту, зокрема, під час проєктної, дослідницької або кейс-орієнтованої діяльності.

На *операційному рівні* обидва процеси спираються на один і той самий набір когнітивних дій, серед яких: аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення, класифікація, порівняння. Ці операції є необхідними як для побудови та дослідження математичних моделей, так і для критичного осмислення інформації, формування обґрунтованих суджень і рішень. Таким чином, математична діяльність стає тренажером критичного мислення, а критичне мислення, у свою чергу, дозволяє осмислено і гнучко працювати з математичними структурами.

Нарешті, на *цільовому рівні* математичне моделювання та критичне мислення мають спільну орієнтацію на розв'язання проблем і прийняття обґрунтованих рішень. Обидва процеси спрямовані на виявлення закономірностей, перевірку гіпотез, формулювання і доведення висновків, що забезпечує не лише формування предметних знань, а й розвиток універсальних мисленнєвих стратегій.

З огляду на зазначене, взаємозв'язок між математичним моделюванням і критичним мисленням можна розглядати як системну взаємодію, яка створює умови для формування цілісної, діяльнісно-орієнтованої, компетентнісної моделі математичної освіти. Така інтеграція забезпечує глибше розуміння навчального матеріалу, розвиток гнучкого й адаптивного мислення, що є необхідним для успішної самореалізації здобувачів освіти у швидкозмінному суспільстві знань.

II. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ

2.1. Вікові та психологічні особливості розвитку критичного мислення учнів засобами математичного моделювання

Процес формування критичного мислення як наскрізної ключової компетентності в учнів загальноосвітньої школи потребує урахування не лише змістових і методичних аспектів навчання, а й психологічних закономірностей вікового розвитку. Особливої ефективності в цьому контексті можна досягти шляхом впровадження математичного моделювання як засобу активізації пізнавальної діяльності, розвитку аналітико-синтетичних умінь і формування критичної оцінки інформації. Разом з тим, спроможність до критичного осмислення проблемних ситуацій, абстрактного мислення, рефлексії та самоконтролю виявляється в різні вікові періоди нерівномірно, що зумовлює необхідність диференціації підходів до організації навчальної діяльності.

Для молодшого шкільного віку (приблизно 6–10 років) характерне домінування наочно-образного мислення²¹. Саме тоді поступово формуються основи понятійного мислення, здатність до елементарного узагаль-

21 URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2018/12/12/11/20-11-2018rekviz.pdf> (15.05.2025).

нення й класифікації. У цей період важливо акцентувати увагу на створенні простих моделей знайомих учням об'єктів або ситуацій із повсякденного життя, що дозволяє сформувати базові навички порівняння, упорядкування, виявлення суттєвих ознак. Застосування математичного моделювання в початковій школі має мати ігровий, дослідницький характер, бути пов'язаним з практичною діяльністю, що викликає зацікавлення та емоційну залученість. Через моделювання учні вчаться ставити запитання, висувати гіпотези, порівнювати результати, що закладає фундамент для майбутнього розвитку критичного мислення.

У середньому шкільному віці (11–14 років) відбувається інтенсивне формування логічних операцій, розвивається причинно-наслідкове мислення, зростає здатність до внутрішнього планування діяльності²². Учні починають усвідомлювати логіку побудови моделі, можуть аналізувати вихідні умови, розуміти вплив різних параметрів на результати, співвідносити модель із реальним об'єктом. На цьому етапі математичне моделювання стає дієвим інструментом для розвитку критичного мислення, оскільки воно потребує обґрунтування вибору змінних, оцінки адекватності моделі, перевірки гіпотез. Важливо забезпечити поступовий перехід від репродуктивної до творчої моделювальної діяльності, створюючи умови для аналізу різних способів розв'язання задач.

У старшому шкільному віці (15–17 років) інтелектуальні здібності досягають рівня формального мислення (за Ж. Піаже), що дає змогу працювати з абстрактними поняттями, моделями високого рівня складності, а також здійснювати рефлексивний аналіз власних міркувань²³. На цьому етапі особливо доцільним є залучення учнів до створення, дослідження та критичного осмислення математичних моделей, які описують соціальні, економічні, екологічні явища. Зростає здатність до критичної оцінки обмежень моделей, усвідомлення множинності підходів до розв'язання однієї й тієї самої задачі, аналізу доцільності використання певних методів чи засобів. Старшокласники можуть самостійно формулювати проблеми, добирати способи їх моделювання, оцінювати якість отриманих результатів, що свідчить про зрілість критичного мислення.

22 Токарева Н.М. Основи вікової психології : навчально-методичний посібник / Н. М. Токарева, А. В. Шамне. Кривий Ріг, 2013. 283 с.

23 Філімонова М. О., Швець В. О. Психолого-педагогічні особливості навчання підлітків методу математичного моделювання. *Математика в школі*. 2010. №11. С. 21–25.

Отже, математичне моделювання, адаптоване до вікових та психологічних особливостей учнів, може виступати ефективним дидактичним засобом розвитку критичного мислення, сприяючи формуванню в учнів здатності ставити запитання, аналізувати інформацію, оцінювати альтернативи, формулювати обґрунтовані висновки та рішення. Особливої значущості така діяльність набуває у контексті реалізації педагогіки партнерства та компетентнісного підходу, задекларованих Концепцією «Нова українська школа».

2.2. Когнітивні механізми взаємодії математичного моделювання та критичного мислення

Процеси математичного моделювання і критичного мислення не лише взаємопов'язані на рівні цілей та структури, а й активізують подібні когнітивні механізми, що забезпечують ефективну пізнавальну діяльність. Розуміння цих механізмів має важливе значення для розробки дидактичних стратегій, спрямованих на формування мисленнєвих умінь учнів засобами математичного моделювання.

Одним із базових когнітивних механізмів, який спільно реалізується у процесах моделювання та критичного мислення, є *аналітико-синтетична діяльність*. Побудова математичної моделі потребує аналізу вихідної ситуації: учні мають виявити її сутнісні характеристики, абстрагуватись від другорядних чинників, виявити релевантні змінні, встановити між ними причинно-наслідкові зв'язки. Після цього настає етап синтезу, під час якого створюється цілісна концептуальна модель, що репрезентує проблему в термінах математичних структур. Саме поєднання аналізу і синтезу дозволяє критично осмислювати інформацію, виявляти логічні невідповідності, робити обґрунтовані узагальнення.

Іншим важливим когнітивним механізмом, що активно задіюється під час математичного моделювання, є *метакогніція – усвідомлення та управління власним мисленням*. Учні здійснюють рефлексію щодо стратегії розв'язання, контролюють правильність виконаних дій, оцінюють доцільність використаних математичних інструментів. Метакогнітивні процеси забезпечують самокорекцію, що є одним із визначальних компонентів критичного мислення. У цьому контексті важливо навчати учнів планувати свої дії, ставити контрольні запитання до власних міркувань,

оцінювати якість отриманих результатів і, за потреби, повертатися до попередніх етапів.

Особливе значення в освітньому процесі має дивергентне мислення, яке виявляється у пошуку нестандартних підходів до побудови математичних моделей²⁴. Цей тип мислення стимулює генерацію альтернативних гіпотез, варіативність міркувань, гнучкість мислення, що безпосередньо корелює з однією з ключових характеристик критичного мислення – відкритістю до нових ідей. Завдяки дивергентному мисленню учні можуть вийти за межі шаблонних способів розв'язання, критично оцінити пропоновані стратегії, згенерувати нові підходи до аналізу проблеми.

Водночас процес математичного моделювання активізує конвергентне мислення, яке передбачає оцінювання альтернатив, обґрунтований вибір найбільш адекватної моделі, перевірку результатів. Конвергентне мислення відповідає за логічну завершеність розв'язання, верифікацію математичних міркувань, відбір доцільних методів та формулювання аргументованих висновків. Поєднання дивергентних і конвергентних механізмів забезпечує повноцінний цикл критичного мислення – від формування ідей до їх раціонального оцінювання.

Когнітивна взаємодія математичного моделювання і критичного мислення має складну поліструктурну природу, вона базується на спільному використанні аналітичних, синтетичних, метакогнітивних, дивергентних і конвергентних механізмів, які формуються у процесі активної розумової діяльності. Освітні практики, які цілеспрямовано активізують ці механізми через моделювання реальних чи навчальних ситуацій, можуть значно підвищити якість критичного мислення учнів, а також сприяти їхньому інтелектуальному зростанню в межах компетентнісного підходу Нової української школи.

2.3. Мотиваційно-ціннісні аспекти розвитку критичного мислення через математичне моделювання

Успішне формування критичного мислення в освітньому процесі вимагає належного рівня мотиваційно-ціннісного ставлення до навчання. У цьому контексті математичне моделювання виступає не тільки як засіб

24 Калюжна О.В. Креативний менеджмент. Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2018. 63 с.

розвитку інтелектуальних умінь, а й як потужний чинник формування внутрішньої мотивації, залучення до осмисленої пізнавальної діяльності, становлення ціннісних орієнтацій, що лежать в основі критичного мислення.

Одним із ключових мотиваційних компонентів, який реалізується у процесі математичного моделювання, є *пізнавальний інтерес*. Робота з моделями, що мають прикладний характер і відображають реальні або життєво значущі ситуації, стимулює природну допитливість учнів, спонукає до пошуку глибинного розуміння явищ, виявлення прихованих закономірностей²⁵. Активна розумова діяльність у процесі моделювання створює ситуації пізнавальної проблеми, які викликають інтелектуальне напруження і потребу у розв'язанні. Це, у свою чергу, сприяє формуванню внутрішньої мотивації до мислення, пошуку істини, прагнення до самоосвіти.

Невід'ємним ціннісним компонентом критичного мислення, що також формується через математичне моделювання, є *інтелектуальна чесність*. Побудова та перевірка математичної моделі передбачає необхідність об'єктивного аналізу ситуації, усвідомлення та визнання можливих помилок, готовність до перегляду попередніх суджень. Учні вчаться неупередженості, засвоюють значення логічної послідовності та доказовості, набувають досвіду відповідального ставлення до власних міркувань. Моделювання вимагає аргументації рішень, що формує навички обґрунтованого оцінювання, тобто одні з найважливіших характеристик критичного мислення.

Важливим аспектом у контексті взаємодії моделювання та критичного мислення є *толерантність до невизначеності*. Математичне моделювання, зокрема, у прикладних задачах, часто пов'язане з необхідністю працювати з неповною, суперечливою або умовною інформацією. Учні вчаться приймати виважені рішення в умовах обмежених даних, будувати гіпотези та перевіряти їх, що стимулює розвиток стійкості до невизначеності, відкритості до альтернативних міркувань та гнучкості мислення.

Крім того, процес моделювання заохочує *інтелектуальну сміливість* – здатність висловлювати власні ідеї, формулювати й обґрунтовувати

25 Kaiser G., Brand S. Modelling competencies: Past development and further perspectives. Mathematical modelling in education research and practice. 2015. P. 129- 149.

нетривіальні підходи до розв'язання проблем, відстоювати свою позицію на основі логіки та доказів. У ситуації відкритого пошуку рішення учні мають змогу виявити креативність, самостійність мислення, здатність критично осмислювати як загальноприйняті, так і нові концепції.

Таким чином, мотиваційно-ціннісна сфера є фундаментальним підґрунтям розвитку критичного мислення, а математичне моделювання – дієвим інструментом її формування. Залучення учнів до діяльності, що поєднує пізнавальну складність, практичну значущість та необхідність аргументованих рішень, сприяє не лише формуванню інтелектуальних навичок, а й вихованню ціннісного ставлення до пізнання, мислення та істини.

III. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ

3.1. *Принципи організації навчальної діяльності*

Ефективне використання математичного моделювання як засобу розвитку критичного мислення в освітньому процесі потребує обґрунтованого підходу до організації навчальної діяльності. Така діяльність має бути системною, цілеспрямованою та внутрішньо мотивованою, а її методичне забезпечення – відповідати сучасним вимогам компетентнісного навчання, що декларуються в нормативних документах, зокрема, у Концепції Нової української школи. В основі побудови освітнього середовища, орієнтованого на розвиток критичного мислення через математичне моделювання, мають лежати такі ключові дидактичні принципи:

- **Проблемний підхід.** Навчальні ситуації повинні передбачати наявність пізнавальної суперечності, що спонукає учнів до постановки запитань, формулювання гіпотез, аналізу умов задачі та пошуку обґрунтованих рішень. Створення проблемних ситуацій активізує інтелектуальну діяльність учнів, формує потребу в критичному аналізі інформації, підвищує рівень усвідомленості математичних дій. Через побудову та аналіз математичних моделей учні залучаються до процесу дослідження, що набуває рис цілеспрямованої когнітивної активності.

- **Контекстуальність.** Одним із ключових чинників розвитку критичного мислення є включення навчального матеріалу в значущий для учнів контекст. Математичні задачі повинні відображати реальні або життєво близькі ситуації, які викликають інтерес, дозволяють побачити практичну цінність знань. Контекстуалізація завдань сприяє не лише кращому розумінню математичного змісту, а й мотивує учнів до пошуку аргументованих рішень, активізує внутрішню мотивацію до навчання.
- **Діалогічність.** Розвиток критичного мислення вимагає організації відкритого навчального простору для обговорення ідей, співставлення різних підходів, аргументації суджень. Математичне моделювання як діяльність, що не має єдиного правильного шляху, створює умови для продуктивного діалогу, дискусій, колективного аналізу моделей і результатів. Учні отримують можливість не лише висловлювати свою позицію, а й переосмислювати її у процесі взаємодії з іншими, що сприяє глибшому розумінню та рефлексії.
- **Рефлексивність.** Однією з центральних складових критичного мислення є усвідомлення власних когнітивних процесів, оцінка ефективності обраних стратегій, виявлення помилок і шляхів їх подолання. У процесі математичного моделювання доцільно створювати умови для рефлексивної діяльності учнів: обговорення логіки побудови моделей, аналіз варіативності рішень, оцінювання результатів за критеріями точності, доцільності, обґрунтованості. Рефлексія допомагає учням розвивати здатність до самокорекції, критичної самооцінки, свідомого управління пізнавальною діяльністю.
- **Поступове ускладнення.** Застосування математичного моделювання у навчанні повинно відповідати віковим та інтелектуальним можливостям учнів, враховувати їхню зону найближчого розвитку. Ефективне формування критичного мислення передбачає поетапне введення задач із дедалі вищим рівнем складності, які вимагають від учнів не лише застосування раніше засвоєних знань, але й конструювання нових способів дій. Такий підхід сприяє поступовому розвитку когнітивної гнучкості, логічного та системного мислення, формує установку на зростання та самовдосконалення.

Зазначені принципи організації навчальної діяльності є основою для проектування уроків та навчальних завдань, орієнтованих на розвиток критичного мислення учнів. Їхнє цілеспрямоване використання дозволяє створити оптимальні умови для формування глибоких інтелектуальних умінь, що мають стійкий трансферабельний характер і відповідають запитам сучасного суспільства.

3.2. *Методи та технології використання математичного моделювання для розвитку критичного мислення*

3.2.1. *Проблемно-пошукові методи*

Проблемно-пошукові методи є одним із найефективніших засобів розвитку критичного мислення в освітньому процесі. Їх суть полягає у створенні навчальних ситуацій, що передбачають невизначеність, відкритість до різних підходів та потребу в обґрунтованому вирішенні проблеми. У контексті математичного моделювання ці методи дозволяють не лише актуалізувати знання учнів, але й стимулювати аналітичну, рефлексивну та креативну діяльність на кожному етапі моделювання.

До ключових проблемно-пошукових методів, що можуть бути ефективно інтегровані у процес навчання математики, належать:

- 1) *Метод дослідницьких проєктів* передбачає самостійну або групову діяльність учнів, спрямовану на розв'язання практичної або навчальної проблеми за допомогою побудови математичної моделі. Учні проходять повний цикл дослідження: виявляють проблему (на основі спостереження, обговорення або аналізу реальної ситуації), формують запитання та гіпотези, розробляють план дій, створюють математичну модель, збирають та аналізують дані, роблять обґрунтовані висновки.
- 2) *Кейс-метод* реалізується через аналіз конкретної ситуації (кейсу), яка є достатньо складною, неоднозначною і потребує побудови або використання математичної моделі для обґрунтованого прийняття рішення. Учні вивчають контекст проблеми, ідентифікують наявні дані та шукають відсутню інформацію, здійснюють формалізацію ситуації, пропонують різні варіанти розв'язання, обґрунтовують оптимальне рішення.
- 3) *Метод проблемного викладу*. За цього підходу вчитель виступає як фасилітатор мислення, який демонструє процес розв'язання склад-

ної проблеми засобами математичного моделювання. Він поступово розкриває суть завдання, акцентуючи увагу на кожному етапі – від постановки проблеми до інтерпретації результатів. Учні при цьому долучаються до обговорення логіки дій учителя, ставлять запитання, здійснюють мікроаналіз проміжних результатів, пропонують альтернативні кроки або способи розв’язання. Цей метод особливо ефективний на початковому етапі формування критичного мислення, оскільки поєднує елементи пояснення, дослідження та моделювання, знижує рівень тривожності, демонструє зразки аналітико-синтетичної діяльності.

3.2.2. Інтерактивні технології

Інтерактивні технології навчання є потужним засобом активізації пізнавальної діяльності учнів, розвитку критичного мислення та формування комунікативних умінь у процесі математичного моделювання. Вони ґрунтуються на принципах взаємодії, співпраці, активного включення кожного учасника в освітній процес і спрямовані на створення навчального середовища, де учень не лише сприймає інформацію, а й активно її переробляє, осмислює, оцінює та застосовує.

У контексті розвитку критичного мислення засобами математичного моделювання доцільно використовувати такі інтерактивні технології:

- *Технологія "мозкового штурму"*. Ця технологія передбачає генерування максимально широкого спектра ідей щодо можливих способів побудови математичної моделі або розв’язання задачі. Учні мають можливість висловлювати навіть сміливі та нестандартні ідеї без страху критики, колективно аналізувати пропозиції, відбирати найбільш раціональні або ефективні рішення. Цей процес сприяє розвитку дивергентного мислення, навичок оцінювання, аргументації та рефлексії, що є базовими елементами критичного мислення.
- *Дискусійні технології*. Залучення учнів до обговорення різних підходів до побудови математичних моделей дозволяє формувати навички аналізу переваг і недоліків запропонованих моделей, порівняння альтернатив, формулювання аргументованої позиції, ведення діалогу та контраргументації. Дискусії можуть бу-

ти організовані у формі дебатів, “за і проти”, “експертних груп” тощо. Такий підхід формує інтелектуальну гнучкість, толерантність до альтернативних точок зору та здатність до конструктивного мислення.

- *Технологія “перевернутого навчання”*. Цей формат передбачає перенесення вивчення теоретичного матеріалу в позаурочний час (за допомогою відео, інтерактивних презентацій, цифрових підручників), що дає змогу на уроці зосередитися на аналізі, критичному осмисленні та застосуванні знань у реальних або змодельованих ситуаціях. У межах математичного моделювання це означає, що учні приходять підготовленими до побудови моделей, мають можливість ставити запитання, уточнювати складні моменти, працюють у групах або індивідуально над застосуванням моделей до розв’язання задач. Такий підхід сприяє розвитку метакогнітивних умінь, усвідомленості у навчанні, самостійності мислення.

Інтеграція інтерактивних технологій у процес математичного моделювання створює умови для особистісно орієнтованого та діяльнісного підходу до навчання, забезпечуючи глибоку когнітивну залученість учнів, розвиток їх критичної компетентності, а також підготовку до реального життя в умовах складних, неоднозначних і динамічних ситуацій.

3.2.3. Цифрові технології

Цифрові технології суттєво розширюють можливості використання математичного моделювання у навчальному процесі, надаючи нові засоби для розвитку критичного мислення учнів. Завдяки інтерактивності, візуалізації, швидкості обробки даних та гнучкості цифрові ресурси дозволяють реалізовувати дослідницький підхід до вивчення математики, стимулювати аналітичне мислення та формувати навички аргументованого прийняття рішень.

У контексті математичного моделювання найбільш ефективними є такі цифрові технології:

- *Комп’ютерні симуляції*, які дають змогу візуалізувати розвиток математичних моделей у динаміці, моделювати реальні або штучно створені процеси, експериментувати з різними параметрами та аналізувати їхній вплив на результати. Учні мають змогу перевіряти

гіпотези щодо змін у моделі, виявляти приховані закономірності, робити прогнози та обґрунтовувати їх.

- *Системи динамічної математики* (наприклад, *GeoGebra*, *Desmos*), що дозволяють створювати й досліджувати візуальні математичні моделі в реальному часі, змінювати змінні, отримувати графічні або числові результати. Вони стимулюють емпіричне дослідження математичних залежностей, формування гіпотез та їх перевірку, розуміння абстрактних понять через наочність. Завдяки цьому відбувається глибше засвоєння матеріалу та розвиток критичних мисленневих навичок.
- *Аналітичні інструменти та середовища для обробки даних* (наприклад, *Excel*, *CODAP*, *Google Sheets*, *Python* з бібліотеками *NumPy*, *Pandas* тощо) дають змогу здійснювати збір, обробку, візуалізацію та аналіз емпіричних даних, перевірку статистичних гіпотез, моделювання та прогнозування. Учні вчаться працювати з даними, обґрунтовувати висновки, здійснювати перевірку достовірності результатів, що є ключовими компонентами критичного мислення.

Інтеграція цифрових технологій у процес математичного моделювання не лише робить навчання більш сучасним і привабливим для учнів, а й забезпечує їхню готовність до функціонування в цифровому середовищі сучасного світу, де критичне мислення та вміння працювати з інформацією є необхідними умовами успіху.

3.3. Система задач з математичного моделювання для розвитку критичного мислення

Ефективна система задач з математичного моделювання, спрямована на розвиток критичного мислення, повинна бути не лише змістовно наповненою, а й методично обґрунтованою. Такі задачі покликані не просто формувати обчислювальні навички, а стимулювати учнів до аналізу, аргументації, ухвалення рішень в умовах невизначеності, оцінки альтернатив та рефлексії щодо результатів.

До основних вимог до побудови такої системи належать:

- *різноманітність контекстів* (задачі повинні охоплювати широкий спектр сфер – економіку, екологію, медицину, соціальні процеси,

інженерію тощо. Це забезпечує міжпредметні зв'язки та демонструє практичну значущість математики);

- *багаторівневність* (важливо забезпечити поступове ускладнення задач, варіативність рівнів – від базового до просунутого, що дозволяє реалізувати диференційований підхід та розвивати здатність учнів до дедуктивного й індуктивного мислення);
- *відкритість* (завдання можуть містити неповні або надлишкові дані, кілька варіантів розв'язку, що стимулює аналіз умов, пошук додаткової інформації, вміння працювати з невизначеністю);
- *проблемність* (в задачах доцільно закладати протиріччя, необхідність розв'язання конфліктів інтересів, врахування обмежень, що сприяє розвитку навичок вирішення реальних життєвих ситуацій);
- *міждисциплінарність* (залучення знань із суміжних галузей (фізики, біології, економіки, інформатики) розвиває системне бачення та поглиблює розуміння взаємозв'язків у складних системах).

IV. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТУ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ

4.1. *Створення освітнього середовища, сприятливого для розвитку критичного мислення*

Ефективне впровадження математичного моделювання як інструменту розвитку критичного мислення неможливе без належного педагогічного контексту. Йдеться не лише про методику викладання, а насамперед про створення освітнього середовища, що підтримує інтелектуальний розвиток, самостійність мислення, відкритість до нового досвіду та культуру аргументованої дискусії. Таке середовище має включати низку ключових характеристик:

- *Атмосфера інтелектуальної відкритості та толерантності* (педагогічна взаємодія ґрунтується на повазі до різних поглядів, прийнятті помилок як невід'ємної складової процесу пізнання: учитель відіграє роль фасилітатора мислення, а не джерела абсолютних істин; учням має бути безпечно висловлювати свої думки, припущення, сумніви).

- *Культура запитань* (у середовищі, сприятливому для розвитку критичного мислення, запитання відіграють провідну роль; учитель і учні спільно формують запитання різних рівнів – від фактологічних до аналітичних і проблемних, що стимулює учнів до роздумів, аргументації, пошуку альтернативних підходів у розв’язанні задач).
- *Баланс між структурованістю та гнучкістю освітнього процесу* (з одного боку, математичне моделювання вимагає певної логічної послідовності, що забезпечує поступове формування необхідних компетентностей, з іншого – важливо залишати простір для творчого мислення, власних гіпотез учнів, альтернативних шляхів розв’язання).
- *Інтеграція цифрових і традиційних освітніх ресурсів* (сучасні цифрові інструменти (моделювальні середовища, динамічні математичні платформи, онлайн-джерела даних) надають широкі можливості для створення моделей, візуалізації результатів, пошуку та перевірки інформації; їх використання у поєднанні з традиційними методами сприяє формуванню критичного ставлення до різних джерел та способів подання інформації).
- *Орієнтація на практичне застосування знань* (учні повинні бачити зв’язок між математичним моделюванням і реальними життєвими проблемами, це підвищує мотивацію, актуалізує цінність знань, сприяє розвитку здатності до прийняття рішень в умовах невизначеності, оцінки ризиків і наслідків).

4.2. Етапність у формуванні навичок математичного моделювання та критичного мислення

Формування навичок математичного моделювання та критичного мислення має здійснюватися поступово, з урахуванням вікових особливостей учнів, рівня їхньої пізнавальної активності та математичної підготовки. Поетапний підхід дозволяє забезпечити неперервність і послідовність розвитку відповідних компетентностей упродовж шкільного навчання (рис. 1).

Такий поетапний підхід забезпечує природне і поступове входження учнів у світ математичного моделювання, створює передумови для фор-

мування в них стійких навичок критичного мислення, вміння аналізувати, аргументувати, оцінювати та приймати обґрунтовані рішення.

Джерело: авторська розробка

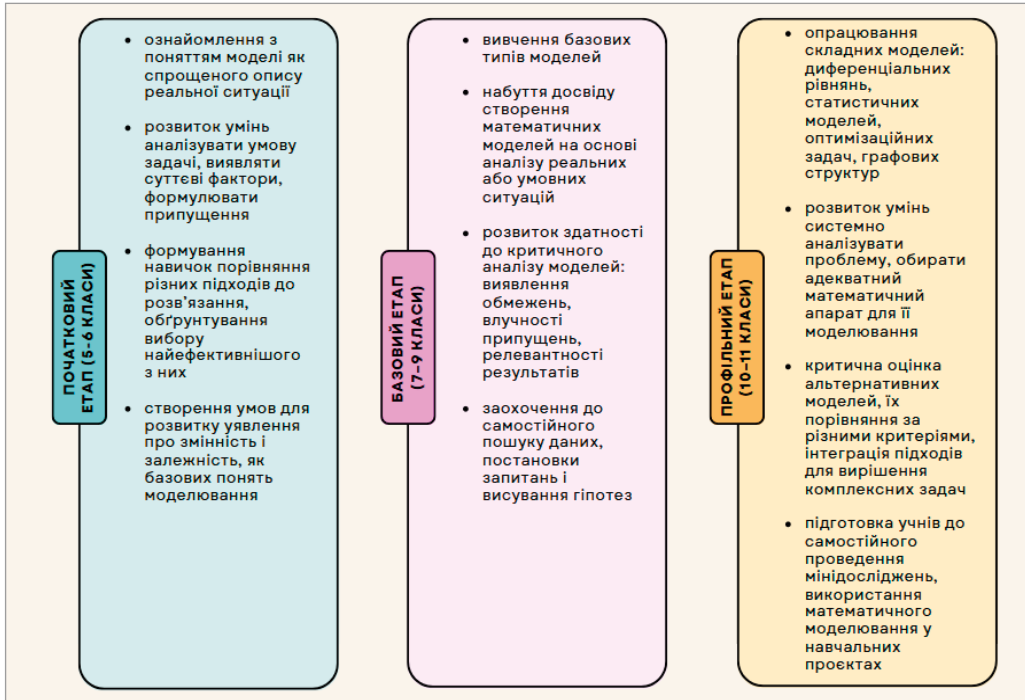


Рис. 1. Етапи формування навичок математичного моделювання та критичного мислення

4.3. Інтеграція математичного моделювання в різні форми освітнього процесу

Ефективне впровадження математичного моделювання як інструменту розвитку критичного мислення передбачає його органічне включення в усі основні форми організації навчального процесу. Така інтеграція дозволяє забезпечити системність, різноплановість та практичну спрямованість формування відповідних компетентностей.

У межах навчальних занять з математики доцільно включати задачі на математичне моделювання до системи вправ з основних змістовних ліній шкільного курсу математики; організовувати практичні роботи, спрямовані на дослідження реальних процесів та явищ за допомогою математичних моделей (наприклад, моделювання руху, зростання

населення, економічних витрат тощо); проводити проблемні дискусії щодо вибору оптимальних стратегій побудови моделей, критичного аналізу результатів, зіставлення різних підходів.

Позакласна діяльність створює умови для поглиблення знань, розвитку ініціативності та творчого мислення²⁶: математичні гуртки та факультативи можуть бути присвячені практиці побудови моделей та їх застосуванню у різних контекстах; проєктна діяльність дозволяє учням досліджувати реальні проблеми (екологічні, соціальні, економічні) за допомогою математичних інструментів; конкурси, олімпіади та хакатони з математичного моделювання стимулюють змагальну мотивацію, поглиблюють знання та розвивають навички командної роботи.

Математичне моделювання є універсальним методом пізнання, тому його інтеграція в інші предмети розширює можливості міждисциплінарного навчання: використання моделей під час вивчення фізики, хімії, біології, географії, економіки сприяє глибшому розумінню змісту навчального матеріалу; реалізація міжпредметних проєктів (наприклад, «Моделювання забруднення водойм», «Енергетичний баланс школи», «Економіка шкільного буфету») дає змогу учням бачити зв'язок між науками та застосування математики на практиці; інтегровані уроки демонструють можливість комплексного підходу до вивчення явищ та формують в учнів цілісне наукове бачення.

Висновки. Математичне моделювання є ефективним засобом розвитку критичного мислення учнів, оскільки передбачає залучення до аналізу реальних проблем, формулювання припущень, побудову та перевірку моделей, інтерпретацію результатів, а також аргументоване прийняття рішень. Така діяльність сприяє розвитку ключових компонентів критичного мислення: аналітичного, логічного, оцінювального, рефлексивного та творчого.

Запропоновано методичні засади впровадження математичного моделювання в освітній процес, що передбачають поетапне формування відповідних навичок з урахуванням вікових особливостей учнів; створення освітнього середовища, сприятливого для формування культури мислення; інтеграцію моделювання в різні форми навчальної діяль-

²⁶ Катеринюк Г. Д. Формування умінь математичного моделювання в учнів профільної школи: дис. ... доктора філософії. Вінницький державний педагогічний університет Михайла Коцюбинського, Вінниця, 2020.

ності – як урочної, так і позаурочної; розробку системи задач, що відповідають вимогам міждисциплінарності, проблемності, відкритості та багаторівневості. Особливої уваги заслуговує системна робота з формування культури запитання, аргументованого сумніву, вміння бачити альтернативні підходи й оцінювати їх ефективність у контексті моделювання реальних ситуацій.

Отже, математичне моделювання виступає не лише інструментом засвоєння математичних знань, а й потужним засобом формування особистості, здатної мислити критично, приймати зважені рішення та орієнтуватися у складному інформаційному середовищі. Використання математичного моделювання у шкільному курсі математики відкриває широкі можливості для оновлення змісту та форм навчання відповідно до сучасних освітніх вимог.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-150-173

Physical and mathematical sciences



Yevgenii SHTEFAN,

Doctor of Technical Sciences, Full Professor,
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID ID: 0000-0002-0697-7651

Anatoliy MIKHAILOV,

Doctor of Philosophy of Mechanical Engineering
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science
National Academy of Science of Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-1442-0658

Oleg MIKHAILOV,

Doctor of Technical Science, Leading Researcher
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science
National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-6040-2376

MODELING OF FORMING PROCESSES OF POWDER AND POROUS MATERIALS PRODUCTS

Introduction

Successful development of mechanical engineering is possible on the basis of the introduction of effective resource-saving technologies. Such technologies include powder metallurgy methods. Powder metallurgy methods have a number of advantages that allow them to replace more expensive metal processing methods: casting, forging and stamping, as well as mechanical processing. Recent years have been characterized by a significant expansion of the application of processes for deforming powder materials and porous blanks. The use of porous blanks allows them to be compacted and give the product a given shape with less effort, reduce the number of transitions and reduce the number of required stamping tools.

When designing powder metallurgy technological processes, it is relevant to study the influence of deformation schemes on the distribution of parameters that determine the characteristics of products. Along with traditional methods,

information technologies and computer modelling methods are currently increasingly used in production design. The development of effective modelling methods is an important problem.

There are two main approaches used in modelling the deformation processes of powder materials and porous blanks: discrete and continuous. The discrete approach considers the interaction between individual elements (particles) of a dispersed medium¹. It is implemented in the discrete element method. Discrete element modelling allows us to obtain information about the trajectories of individual particles and the forces acting on them, which, in turn, allows us to better understand the deformation processes. The discrete element method does not have the disadvantages of the continuous approach associated with the violation of the continuity of the deforming body; it allows us to model the behaviour of multicomponent media. The disadvantages of discrete methods include high computational costs, the complexity of determining the characteristics necessary for the design of technological processes, and limited application. Therefore, the main approach in modelling the deformation processing processes of powder materials is the continuous approach. Introducing continuous representations, we proceed from the fact that the behaviour of an individual powder particle does not represent the behaviour of the entire powder mass. Unlike individual powder particles, the plastic deformation of which occurs without a change in volume, the external load of the entire set of particles is accompanied by significant irreversible volume changes, i.e., powder and porous bodies can be considered as a medium that is plastically compressed. The smallest volume of the ensemble in which the powder particles are in contact with each other and reproduces the behaviour of the entire powder mass is called a representative element. Its volume is usually several orders of magnitude smaller than the volume of the entire powder mass. It is assumed that the entire powder volume can be composed of representative elements. Local characteristics of the powder medium, such as density, temperature, stress tensors, displacement velocities, and others, are introduced in accordance with the canons of a continuous medium with the caveat that a point of the powder medium does not mean a separate particle of powder, but a representative element. The most common

¹ Martin C. L., Bouvard D., Delette G. Discrete element simulations of the compaction of aggregated ceramic powders. *Journal of the American Ceramic Society*. 2006. Vol. 89, Num. 11, P. 3379-3387

modelling method for solving problems of deformation of powder and porous materials is the finite element method, which is implemented in a number of universal software systems. Models of powder and porous bodies are implemented in modern programs, which makes it possible to model the deformation processes of dispersed media. However, different plastic flow models are used for powders and porous bodies, which cause a number of inconveniences in modelling. In addition, not all programs implement these models simultaneously.

Research Methodology

A method for studying the regularities of the processes of forming parts from powder and porous materials has been developed. The relations of the theory of plasticity of a porous body² and the finite element method are used. The scientific substantiation of resource-saving technologies for manufacturing machine parts manufacturing is proposed by the mathematical model of structurally inhomogeneous porous materials forming processes. The analytical component of the model (analytical model) is represented by a closed mathematical relations system of mathematical physics boundary value problem type. Analytical model describes the deformation process of dispersed (powder or porous structure) materials. The equation of the contour of the load surface in the $p - \varphi$ plane (Fig. 1) has the form:

$$F = \frac{(p - p_0)^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\varphi} - \tau_s^2 = 0 \quad (1)$$

where p is the magnitude of the hydrostatic pressure; τ is the intensity of the tangential stresses; φ and ψ are material functions depending on porosity; p_0 is the value of the hydrostatic component of the stress state at which the volume of the porous material does not change; τ_s is the yield strength of the powder material or the solid phase of the porous body. The expressions for the material functions are defined as follows:

$$\psi_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{(1 - \theta)^3}{\theta} \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{1}{(1 + m)^2} \cdot (1 - \theta)^3 \cdot (1 - |2 \cdot a - 1|)^2 \quad (3)$$

2 M. B. Shtern, O. V. Mikhailov, A. O. Mikhailov, Theory and technology of forming process generalized continuum model of plasticity of powder and porous materials, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 60, Nos. 1-2, May, 2021 (Russian Original Vol. 60, Nos. 1-2, Jan.-Feb., 2021. – pp. 27-44). – pp.20-36 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00211-7>

$$\psi_1 = 4(1-\theta)\psi_0 \cdot \frac{(1-a)^2}{(1+m)^2} \quad (4)$$

$$\psi_2 = 4(1-\theta)\psi_0 \cdot \frac{a^2}{(1+m)^2} \quad (5)$$

$$p_0 = \tau_s \sqrt{1-\theta} \sqrt{\psi_0} \cdot \left(\frac{1-m-2 \cdot a}{1+m} \right) \quad (6)$$

$$\psi = \frac{1}{2}(1 - \text{Sign}(p - p_0)) \psi_1 + \frac{1}{2}(1 + \text{Sign}(p - p_0)) \psi_2 \quad (7)$$

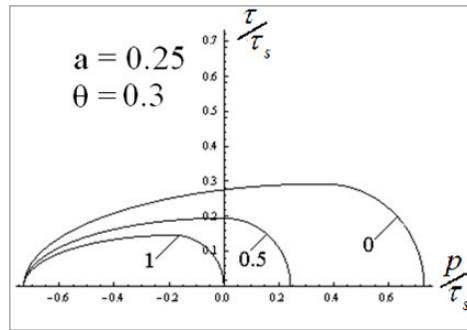


Figure 1. Appearance of the load surface contour in the $p -$ plane for different values of the parameter m

The general relationship between stresses and strain rates in component-wise form is determined by the flow law associated with the plastic potential equation in the form³:

$$\sigma_j = \frac{\tau_s \cdot \varphi}{w} \left[e_j + \left(\frac{\psi}{\varphi} - \frac{1}{3} \right) \cdot e \cdot \delta_j \right] + p_0 \cdot \delta_j \quad (8)$$

From the expression for the specific energy dissipation rate and the hypothesis that this energy is dissipated only in connection with plastic deformation, a kinetic equation for strain accumulation follows. The strain hardening of the solid phase can be taken into account using equation:

$$w = \frac{\sqrt{\gamma^2 \varphi + e^2 \psi}}{\sqrt{1-\theta}} + \frac{p_0}{\tau_s} \cdot \frac{e}{1-\theta} \quad (9)$$

³ Shtefan, E., Pashchenko, B., Blagenko, S., Yastreba, S. (2019). Constitutive Equation for Numerical Simulation of Elastic-Viscous – Plastic Disperse Materials Deformation Process. In: Ivanov, V., et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_37

The adopted rheological model of the material allows describing the deformation of both powder and porous workpieces. It takes into account the different resistance of these materials under tension and compression.

The numerical implementation of the problems of modelling metal processing processes by pressure uses one of the most well-known variation principles of mechanics – the principle of virtual velocities. According to this principle, for any kinematic possible velocity field at an arbitrary moment of time, the strengths of internal and external forces are equal:

$$\int_V \sigma_{ij} e_{ij} dV = \int_S p_i v_i dS, \quad (10)$$

Equation (10) is called the equation of virtual powers. It means the equality of the powers of internal forces (stresses σ_{ij}) in the volume of the body V in an arbitrary (virtual) velocity field and the power of external forces in the same velocity field. Based on the variation principle, the real velocity field is the result of finding the functional extreme, which has the form:

$$J = \int_V \sigma_{ij} e_{ij} dV - \int_S p_i v_i dS \quad (11)$$

Taking into account the determining relations of the plastic flow of powder and porous materials, equation (11) will take the form:

$$J = \int_V \tau_s \left(\frac{\sqrt{\gamma^2 \varphi + e^2 \psi}}{\sqrt{1 - \theta}} + \frac{p_0}{\tau_s} \cdot \frac{e}{1 - \theta} \right) dV - \int_S p_i \cdot v_i dS, \quad (12)$$

where p_i – loads applied to the surface of the deforming body; v_i – velocities of movement of points of the body deforming under the action of loads p_i ; V – volume of the body; S – surface of the body. The system of differential equations obtained as a result of finding the extreme of the functional (12) is replaced by a discrete finite element model, which is a system of nonlinear algebraic equations:

$$[K] \cdot \{\dot{X}\} = \{P\} - \{P_0\}, \quad (13)$$

$$\text{where } [K] = \sum_1^{Ne} \int_V [B]_{(e)}^T [D]_{(e)} [B]_{(e)} dV -$$

global stiffness matrix of the system; N_e – number of finite elements; V – element's volume; $\{\dot{X}\}$ – knot speed column; $\{P\}$ – nodal force column;

$\{P_0\} = \sum_1^{Ne} [B]_{(e)}^T \{P_0\}_{(e)} dV$ column of nodal forces corresponding to the magnitude of the displacement of the centre of the ellipses approximating the contour of the load surface along the axis p (Fig. 1); $[B]_{(e)}$ – matrix relating the rates of plastic deformation in an element to the rates of displacement of its nodes; $[D]_{(e)}$ – a matrix that relates the stress components in an element to the strain rates according (8).

The system of equations (13) is a system of nonlinear algebraic equations with respect to $\{\dot{X}\}$. At the same time, the global stiffness matrix depends on the coordinates of the nodes of the finite elements. Thus, this system of equations is also a system of differential (time) equations with respect to $\{\dot{X}\}$. The differential equations system is solved by the finite difference method. On the time interval $\Delta t = t_{m+1} - t_m$, the coordinates of the nodes of the finite elements are determined:

$$\{X\}_{m+1} = \{X\}_m + \int_{t_m}^{t_{m+1}} \left\{ [K]^{-1} (\{P\} - \{P_0\}) \right\} \cdot dt \quad (14)$$

With a two-layer approximation we obtain:

$$\begin{aligned} \Delta\{X\}_{m+1} = & (1 - \alpha) \cdot \Delta t \cdot [K]_m^{-1} (\{P\} - \{P_0\})_m + \\ & + \alpha \cdot \Delta t \cdot [K]_{m+1}^{-1} (\{P\} - \{P_0\})_{m+1} \end{aligned} \quad (15)$$

где $0 \leq \alpha \leq 1$, in the calculations it was considered $\alpha = 0,5$.

In elastic-plastic deformation of powder and porous materials, the increment of the total deformation consists of the sum of elastic $d\xi_j^e$ and plastic $d\xi_j^p$ deformations:

$$d\xi_{ij} = d\xi_{ij}^e + d\xi_{ij}^p \quad (16)$$

Elastic deformations are reversible, and plastic deformations are irreversible.

The increments of elastic deformations are determined according to Hooke's law:

$$d\xi_{ij}^e = \frac{1 + \nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{kk}) \delta_{ij} \quad (17)$$

The increments of plastic deformations are determined according to the law associated with the flow surface (the flow occurs in the direction normal to this surface):

$$d\xi_{ij}^{pl} = \lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}}; \lambda > 0 \quad (18)$$

Accordingly, the increase in volumetric strain and shear strain is determined by expressions:

$$de^{pl} = \lambda \frac{\partial F}{\partial p} = \frac{2(p - p_0)}{\psi} \quad (19)$$

$$d\gamma^{pl} = \lambda \frac{\partial F}{\partial \tau} = \frac{2\tau}{\varphi} \quad (20)$$

The variation functional and the system of equations of the finite element method for the elastic-plastic deformation model take the form:

$$J = \int_V \tau_s \left(\frac{\sqrt{\gamma^2 \varphi + e^2 \psi}}{\sqrt{1 - \theta}} + \frac{\dot{p}_0}{\tau_s} \cdot \frac{e}{1 - \theta} \right) dV - \int_S \dot{p}_i \cdot v_i dS, \quad (21)$$

$$[K] \cdot \left\{ \dot{X} \right\} = \{ \dot{P} \} - \{ \dot{P}_0 \} \quad (22)$$

The solution of the problems of plastic deformation of powder and porous materials was performed in stages, using the method of successive loadings. As a first approximation at each step, the solution of the problem of linear-viscous flow of the material was used. At each loading step the iterative refined method was used. The iterative process was stopped after the difference between the found values of the nodal velocities became, compared to the previous ones, smaller than a predetermined small number. Having determined the velocity field, the values of porosity, the magnitudes of the components of the stress-strain state were found and the next stage of loading was proceeded to.

For the calculation of elastic-plastic deformation process the method of successive loading was used. At each loading step, stresses were determined, and it was assumed that the material was elastic. Then, the plastic potential $F(\sigma_{ij})$ was calculated and, depending on its value, the stresses and material parameters of the model were adjusted. The algorithmic model has the form:

1. Introduction of the increment of deformations and the current values of the material parameters for the appropriated geometric model $d\xi_j^{n+1}, \sigma_j^n, \theta^n, \omega^n$
2. Determination of approximate values of stress increments: $d\sigma_j^* = E_j^e d\xi_j^{n+1}$

3. Determination of approximate stresses: $\sigma_j = \sigma_j^n + d \sigma_j^*$

4. Calculating the plastic potential $F(\sigma_j)$.

If $F(\sigma_j) \leq 0$, no adjustment of stresses and material parameters is made

$$\sigma_j^{n+1} = \sigma_j, \quad \theta^{n+1} = \theta^n, \quad \omega^{n+1} = \omega^n$$

If $F(\sigma_j) > 0$, the correction of stresses and material parameters is carried out.

4.1. Correction the increase in elastic deformations:

$$de^e = de^{n+1} - de^{pl} = de^{n+1} - \lambda \frac{\partial F}{\partial p}$$

$$d\gamma^e = d\gamma^{n+1} - d\gamma^{pl} = d\gamma^{n+1} - \lambda \frac{\partial F}{\partial \tau}$$

As a result of the iterative solution of the nonlinear equation $F(\sigma_j(\lambda)) = 0$, we determine the parameter λ .

4.2. Calculation $\sigma_j^{n+1}, \theta^{n+1}, \omega^{n+1}$

The algorithmic models were implemented in the form of corresponding digital models. The scheme of the digital model of plastic deformation is shown in Figure 2. the database using. The GID software package⁴ is used as a pre- and postprocessor.

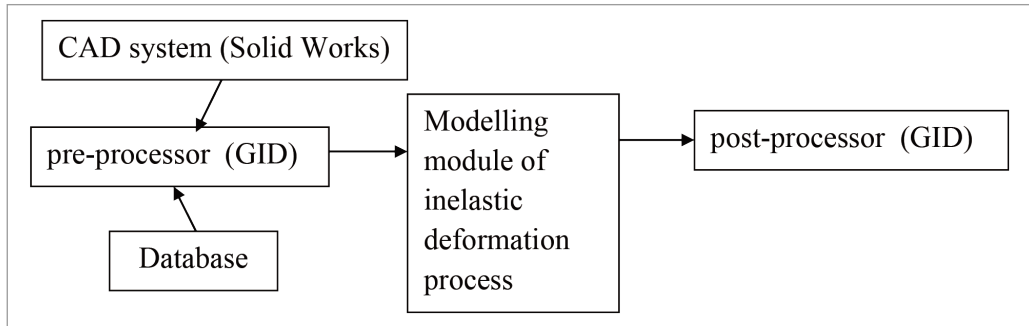


Figure 2. Scheme of the digital model of plastic deformation

The inelastic deformation problem solving module is implemented in the algorithmic programming language C. The digital elastic-plastic deformation model was implemented in the form of VUMAT and UMAT subroutines, which were implemented in the ABAQUS⁵ and LS-DYNA⁶ software systems,

4 GID. The personal pre and post processor developed by the International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE, Barcelona, Spain). URL: <https://www.gidsimulation.com>

5 Abaqus. Unified FEA. (Dassault Systèmes, France). URL: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>

6 LS-DYNA. (LST, USA). URL: <https://www.lstc.com>

respectively. VUMAT is a user-defined subroutine in ABAQUS/Explicit, written in the FORTRAN programming language. It is used for new material models specified by the user. The user can specify internal state variables that are updated together with the solution at each step. For each loading step, ABAQUS integrates the equilibrium equation based on the stress state at the beginning of the step at each integration point and passes the strain gradient tensor, stress tensor, and internal variables to the VUMAT routine. The VUMAT routine calculates the stress components and user-specified internal variables at the end of the specified strain increment for each integration point and passes them to ABAQUS. Using this information, ABAQUS can continue the calculation for the next loading step. The UMAT routine is also written in the FORTRAN programming language. Its purpose and interaction with the LS-DYNA software system are similar. A diagram showing the interaction between the VUMAT and UMAT routines and the ABAQUS and LS-DYNA software systems is shown in Figure 3.

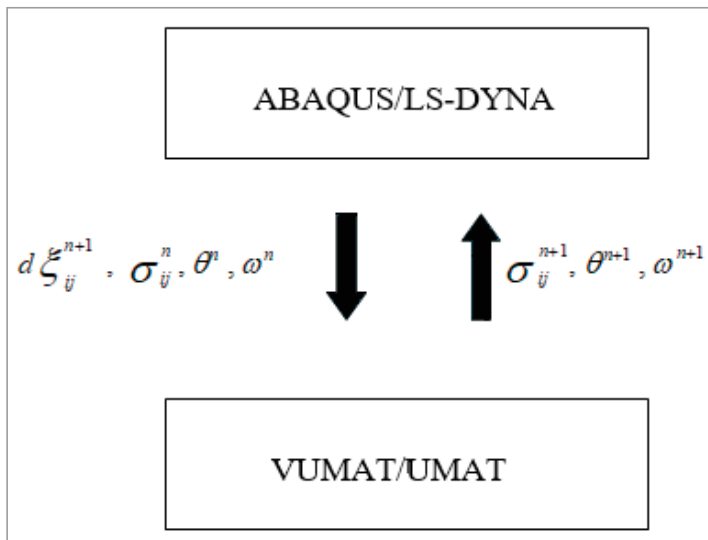


Figure 3. Interaction diagram between VUMAT and UMAT subroutines and ABAQUS and LS-DYNA software systems

Results and Discussion

The adequacy of the proposed modelling method was checked based on a comparison of the obtained results with experimental data and modelling results of other authors. The experimental data on the density distribution

during the pressing of stainless steel powders are presented⁷. These processes are also simulated using the finite element method⁸.

The necessary data for the computational experiment were taken from this work. The results of the calculations are shown in Figure 4. During double-sided pressing, the maximum compaction of the powder occurs in the upper and lower parts of the product. At the same time, in the middle part of the pressing, the relative density value is lower. The uneven distribution of residual porosity is due to the influence of external friction. It can also be noted that during double-sided pressing, the porosity value is distributed more evenly than during single-sided pressing.

The process of free settlement of porous cylindrical blanks was also studied. The ratio of the initial height of the blank to its diameter was equal to unity. The value of the initial porosity throughout the volume of the blank was the same and equal to 0.2. Figure 6,a shows the distribution of relative density along the axial cross-section of the blank. The modelling results show that the distribution of porosity is uneven (the figure shows a quarter of the axial cross-section of the blank).

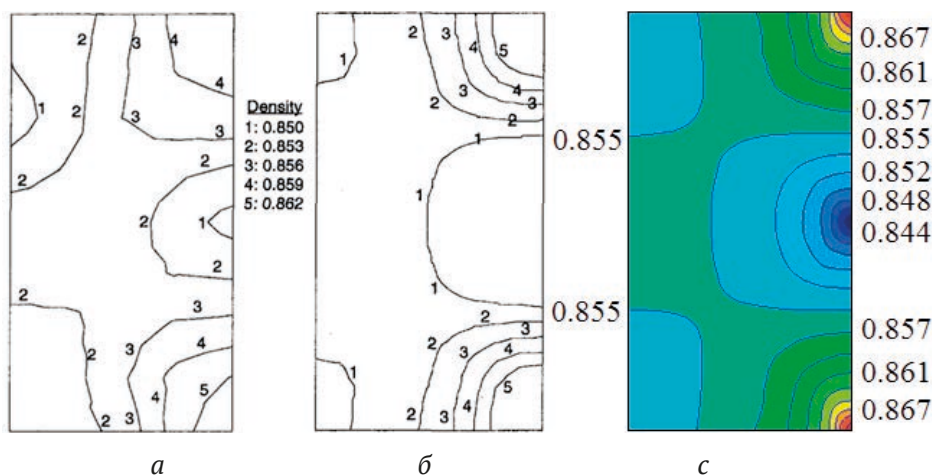


Figure 4. Relative density distribution during double-sided pressing: experimental data⁹ (a) and simulation results¹⁰ (b) and results of computational experiment (c)

7 Kwon Y. S., Lee H. T., Kim K. T. Analysis for Cold Die Compaction of Stainless -Steel Powder. Journal of Engineering Materials and Technology, 1997. Vol. 119, Issue 4. P. 366 – 373.

8 Ibid.

9 Ibid.

10 Ibid.

Maximum compaction occurs in the central zone of the blank and at its ends near the side surface. The maximum porosity is in the area of the convexity of the side surface. At the ends of the blank in the immediate vicinity of the axis of symmetry, there is a zone of difficult deformation. In this zone, porosity is also maximum.

The metallographic studies of the surface of axial sections of deformed workpieces were carried out¹¹. The shape and size of the pores were studied. In the central region of the product, maximum compaction of the material occurred. At the same time, in the zones of difficult deformation, the value of residual porosity is higher. It is also possible to note an increase in porosity in the convex region of the lateral surface of the workpiece. Thus, the modelling results correspond to the experimental data presented (Fig. 5).

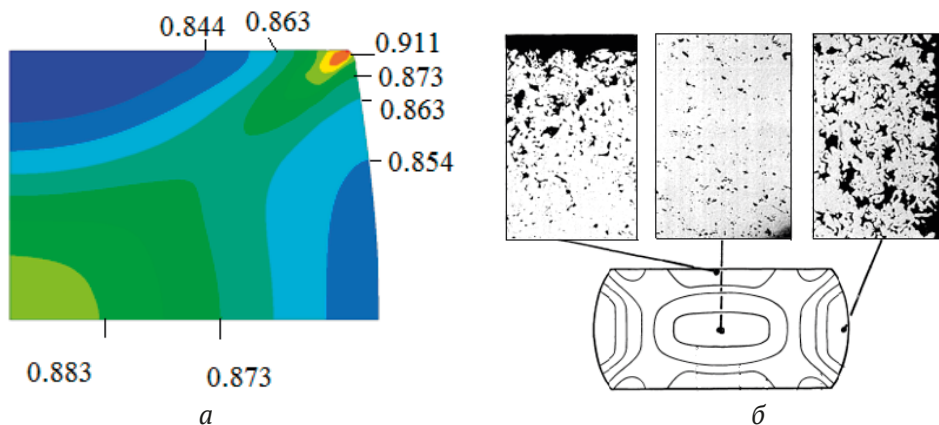


Figure 5. Relative density distribution (a) and microstructure in the cross-section of the workpiece (b)

The patterns of deformation of porous workpieces during radial compaction were studied¹². The process scheme is shown in Figure 6. The workpiece is compacted by compressing it along the inner surface.

The initial porosity of the workpiece was 0.15. Its outer diameter was 120 mm, the inner diameter was 72 mm. The height of the workpiece was 85 mm. The deformation of the workpiece was carried out in two passes. Figure 7 and

11 Fischmeister H. F., Arén B., Easterling K. E. Deformation and densification of porous preforms in hot forging. Powder metallurgy. 1971. Vol. 14, Issue 27. P. 144-163.

12 A. Mykhailov, Ye. Shtefan, O. Mikhailov (2023). Modeling of manufacturing processes of thin-walled bushings from porous blanks using direct extrusion and radial compaction. USPIHI MATERIALOZNAVSTVA. № 7. KIEV: FRANTSEVICH INSTITUTE FOR PROBLEMS OF MATERIALS SCIENCE NASU, P. 19 – 26. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.15407/MATERIALS](https://doi.org/10.15407/MATERIALS). URL: [HTTP://WWW.MATERIALS.KIEV.UA/ISSUE/224/ARTICLE/3529](http://www.materials.kiev.ua/issue/224/article/3529)

Figure 8 show the simulation results. The material compaction occurs locally (Fig. 7). First, the upper part of the workpiece is compacted. Then, according to the displacement of the punch, the compaction zone moves down. At the end of the first pass, all the material in the area of the inner surface of the workpiece is compacted. The maximum compaction of the material occurred in the centre, and to a lesser extent at the ends of the workpiece. With increasing radius, the porosity value increases and takes on a maximum value on the outer surface of the workpiece. Due to the flow of material in the vertical direction in the lower part of the workpiece, on its inner surface, a burr is formed. The diameter of the punch after the first pass was increased. In the second pass, the area of compacted material increases and extends towards the outer surface of the workpiece. However, on the outer surface of the workpiece, especially at its ends, the workpiece material is compacted slightly. The size of the burr in the lower part of the product increased. Its formation was partially compensated by the initial shape of the workpiece due to the presence of a notch in its lower part. A small burr was also formed in the area of the upper end of the product. The evolution of the accumulated plastic deformation is similar to the change in the relative density (Fig. 8). The maximum accumulated deformation is on the inner surface of the workpiece, and the minimum value is on its outer surface.

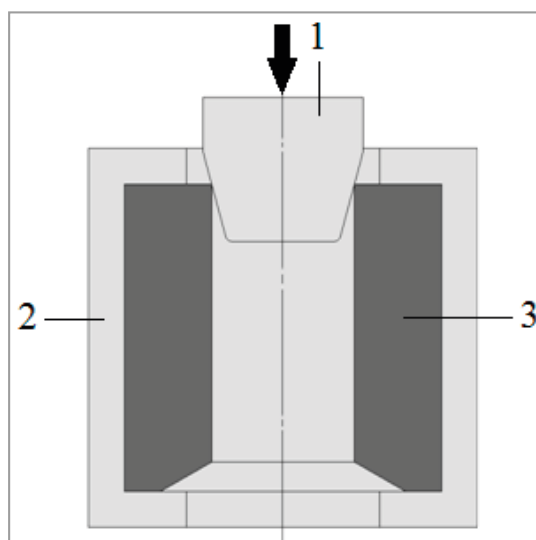
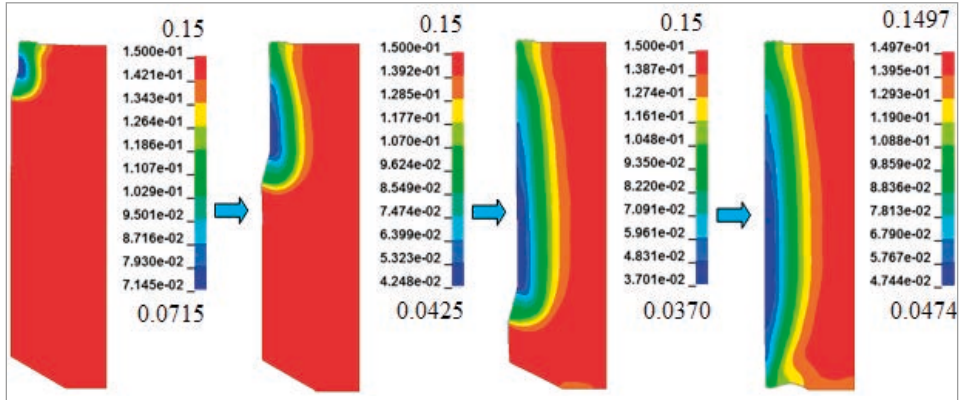
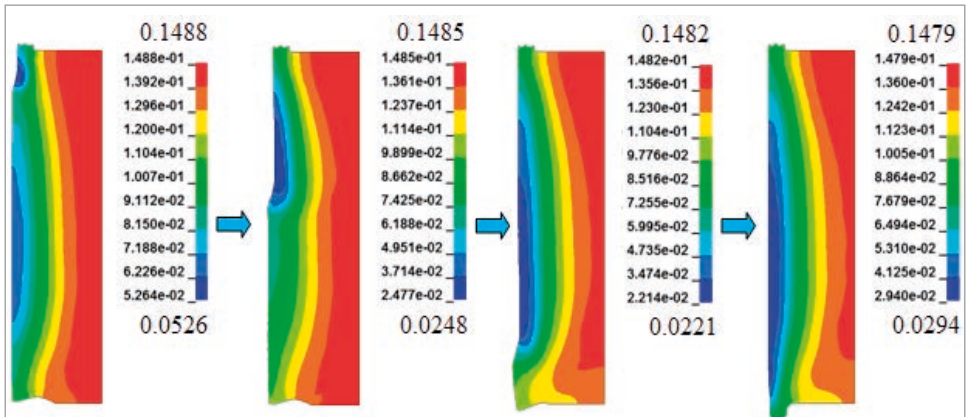


Figure 6. Calculation scheme of radial sealing:
1 – punch; 2 – matrix; 3 – workpiece

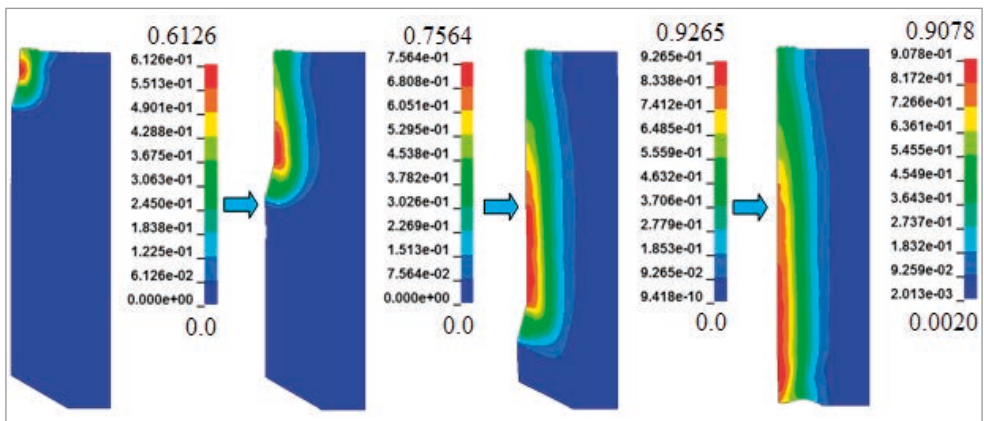


a

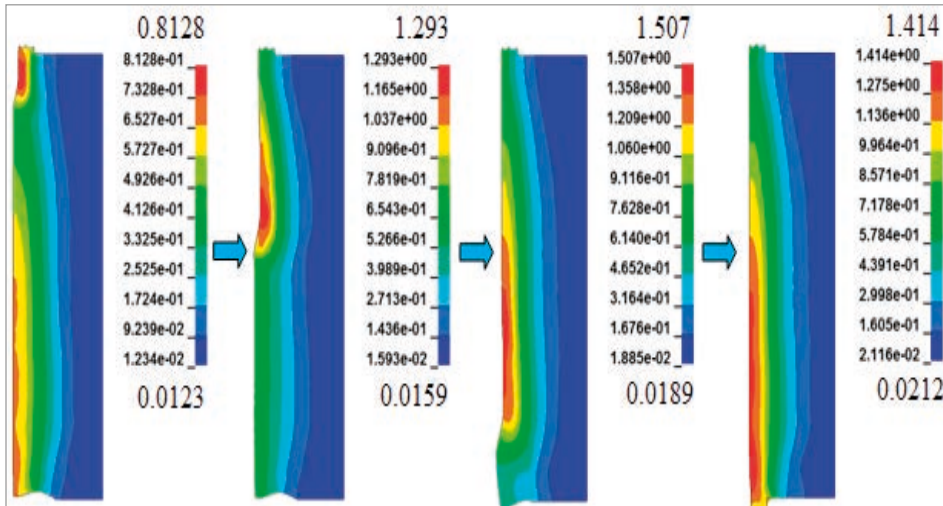


b

Figure 7. Analysis of the evolution of porosity fields during the first (a) and second (b) passes



a



6

Figure 8. Analysis of the evolution of the fields of the magnitude of the accumulated plastic deformation during the first (a) and second (b) passes

Conclusions

A mathematical model of the deformation processes of powder and porous materials has been developed, which includes analytical, algorithmic and digital models as structural components. The relations of the plasticity theory used allow us to describe the deformation of both powder and porous workpieces. The plastic and elastic-plastic behaviour of the deforming material has been considered. The results of the computational experiment correspond to the data obtained by other authors. The regularities of the deformation of porous workpieces during radial compaction along the inner diameter have been studied. It has been established that the deformation of the material occurs locally. With an increase in the radius, the porosity value along the cross-section of the product increases. Increasing the number of compressions reduces the uneven distribution of residual porosity and its magnitude. However, the uneven distribution along the radius remains.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-174-187

Political and legal sciences



Mykola PYSAREVSKIY,

PhD, Associate Professor,

V. N. Karazin Kharkiv Natonal University

ORCID ID: 0000-0002-3981-5149

Iryna PANOVA,

PhD, Associate Professor,

V. N. Karazin Kharkiv Natonal University

ORCID ID: 0000-0002-1975-5644

Mykhailo SIDOROV,

PhD, Associate Professor,

V. N. Karazin Kharkiv Natonal University

ORCID ID: 0000-0002-5911-4817

Ukraine

THE EVOLUTION OF THE CONCEPT OF INTERNATIONAL SECURITY: THEORETICAL APPROACHES AND POLICY PRACTICE IN THE 20TH AND 21ST CENTURIES

The concept of international security has undergone a long evolution throughout the 20th and 21st centuries. Its development has been driven by historical cataclysms – two world wars, the Cold War, regional conflicts – as well as by evolving theoretical approaches in international relations. Today, “international security” is an extremely broad and multifaceted concept, encompassing traditional military-political aspects alongside new challenges (terrorism, cyberattacks, pandemics, climate threats, etc.). As the scope of the term expanded, debates arose over its precise definition – it has essentially become an “essentially contested concept” in academic discourse. Nevertheless, the importance of security at the international level continues to grow. According to the UN, by the mid-2020s a quarter of the world’s population lives in conflict zones, and the level of global peacefulness is the lowest since the Second World War¹. The number of armed conflicts worldwide has reached a record high². Against this

1 United Nations Development Programme. UNDP. URL: <https://www.undp.org/>

2 The Institute for Economics & Peace. (n.d). IEP. URL: <https://www.economicsandpeace.org/>

backdrop, the international community recognizes the need to reconceptualize international security and to strengthen the mechanisms for upholding it.

International security as a scholarly concept emerged at the intersection of international relations theory and states' practical needs to protect themselves from threats. Different theoretical paradigms dominated in different periods. The main approaches can be categorized as traditional (realist), liberal, constructivist, and broadened critical approaches (the latter including the human security concept and other critical perspectives) (Table 1). The traditional paradigm that dominated international relations for much of the 20th century is grounded in realism. In the realist view, world politics is an arena of rivalry among sovereign states seeking power and survival under conditions of anarchy (the absence of any higher authority to guarantee order). Each state must therefore rely on self-help for its security. Classical realists (e.g. Hans Morgenthau, E. H. Carr) argued that a state's security depends primarily on its military capabilities and its ability to deter potential aggressors. In this view, international security effectively reduces to the aggregate security of individual states, maintained through either a balance of power or a hegemonic power that deters would-be aggressors by the threat of overwhelming retaliation. Within the realist paradigm arose the notion of a "security dilemma": one state's efforts to increase its security (for example, by armament or alliances) can make other states feel less secure, prompting them to also arm themselves and thus creating a vicious circle of insecurity. The advent of nuclear weapons in the Cold War vividly demonstrated this dilemma, as the superpowers' mutual fear of catastrophic destruction restrained them from direct military confrontation³.

Table 1

Main theoretical paradigms of international security

Approach	Key Features and Emphases	Main Actors (Referent)
1	2	3
Realism	The state is the central actor; anarchy prevails in the international system; security is equated with military power and state survival; emphasis on balance of power and deterring aggression through force.	Sovereign states (national security of the state)

³ Abhaya Shekhar Adhikari. The Concept of International Security. Hasanuddin Journal of International Affairs. 2024. № 4(2). P. 78-89. URL: <https://salolj/315aAFE>.

Continuation of table 1

1	2	3
Liberalism	International cooperation is possible and desirable; institutions, international law, and collective security can mitigate anarchy; economic interdependence reduces the risk of war; security is viewed as a common good achieved through coordinated action.	States, international organizations (collective security of groups of states)
Constructivism	Security is shaped by shared ideas, norms, and identities; perceptions of threats are socially constructed; the formation of “security communities,” where war among members is unthinkable, is possible; trust and shared values reduce conflict.	States and non-state actors as carriers of norms; communities of states (regional unions)
Critical (widened) approaches	Broadening of the security concept beyond the military realm: inclusion of economic, environmental, social, and humanitarian dimensions. Human security centers on the individual and their protection (from violence, poverty, disease). Emphasizes “bottom-up” security of people rather than only states. Pluralism of referents: nations, societies, humanity as a whole, the planet.	Individuals, society, supranational communities (humanity), the global environment

Liberal Institutionalism. By the latter half of the 20th century, the narrow, state-centric and militarized notion of security in realism came under criticism. The liberal-institutional approach emphasizes the possibility and desirability of international cooperation. It argues that through international institutions, law, and norms, states can overcome the anarchic nature of the system and achieve common security. Interdependence – economic, political, and societal – reduces the incentives for conflict, as war becomes mutually costly. Liberal theorists highlight mechanisms like collective security, wherein the international community can act in concert to address threats to peace, legitimately acting on behalf of the world community⁴. For example, the United Nations Security Council has at times authorized collective action to repel aggressors (as in the Korean War of 1950–53 and the Gulf War of 1991). Another manifestation of the liberal approach is the concept of collective defense – exemplified by alliances such as NATO – in which an attack on one member is met as an attack on all. Liberal institutionalists also ac-

4 UNITED NATIONS INFORMATION SERVICE. (n.d) UNIS. VIENNA. URL: <https://surli.cc/ijgwwe>.

knowledge emerging, non-traditional threats that go beyond interstate war, such as international terrorism⁵. Institutions and cooperation are seen as key to addressing these new challenges. Through such coordination, the liberal approach broadened the notion of international security from the narrow self-defense of states toward a vision of security as a shared good achieved through cooperation.

The constructivist approach, which gained prominence in the late 20th century, shifted the focus to the role of ideas, norms, and identities in international security. Constructivists argue that what states consider a “threat” is not objective or fixed, but rather is socially constructed – shaped by historical, cultural, and political contexts. State interests themselves are influenced by identities and norms. This perspective implies that conflict is not inevitable; if states come to share benign perceptions and common values, they can form security communities in which war between them becomes unthinkable. Trust, dialogue, and identity convergence thus become crucial for security. These insights echo earlier arguments that “security is not only about states.” As Barry Buzan noted in the 1980s, security concerns “all human communities,” not just nation-states⁶.

Critical and Human Security Approaches. In the late 20th century, theorists began to call for widening the concept of security beyond its traditional military scope. They pointed out that threats to security can take non-military forms – economic coercion, environmental degradation, societal collapse – that undermine the stability and well-being of societies⁷. These ideas laid the groundwork for an expanded security agenda. In 1994, representatives of the so-called Copenhagen School of security studies – Barry Buzan⁸, Ole Wæver⁹ and others – further developed the broadened perspective by introducing distinct “security sectors” and the process of securitization. Securitization refers to the act of framing an issue as an existential threat that merits an extraordinary security response. For instance, migration or a disease outbreak can be

5 United nations information service. (n.d) UNIS. VIENNA. URL: <https://unis.unvienna.org/unis/en/about/about-unis.html>.

6 Buzan, B. & Wæver, O. (2003). *Regions and powers: the structure of international security*. Cambridge University Press. URL: <https://surl.li/hbourx>.

7 Abhaya Shekhar Adhikari (2024). The Concept of International Security. *Hasanuddin Journal of International Affairs*. 4(2), 78-89. URL: <https://salo.li/315aAFE>.

8 Buzan, B. & Little, R. (2000). *International Systems in World History: Remarking the Study of International Relations*. Oxford: Oxford University Press. URL: <https://salo.li/7F04288>.

9 Buzan, B. & Wæver, O. (2003). *Regions and powers: the structure of international security*. Cambridge University Press. URL: <https://surl.li/hbourx>.

securitized by political leaders, turning it into a security issue that justifies emergency measures. By the end of the 20th century, a powerful assertion emerged: “security is about more than just the state.” Ken Booth, a leading critical security scholar, suggested that security should be understood as “survival plus,” where the “plus” signifies freedom from fear and want at the individual level. In this vein, analysts began distinguishing multiple dimensions of security – military, political, economic, environmental, and human¹⁰. This comprehensive approach posits that peace and stability are achievable only with simultaneous progress in traditional defense, economic development, environmental protection, and human rights. Such a concept of “comprehensive security” became a model for various regions, recognizing that true security must address the needs of people as well as states.

By the 2020s, the international security environment has been marked by a return of intense great-power rivalry and even war, after a brief post-Cold War period of optimism. The most dramatic example is Russia’s recent aggression in Europe. In February 2022, Russia launched a full-scale invasion of Ukraine – the largest armed conflict in Europe since 1945. This war, still ongoing, has brought levels of bloodshed and destruction unseen in Europe in over 75 years. It has “undermined peace and seriously altered our security environment,” as noted in NATO’s new Strategic Concept¹¹. Indeed, Russia’s war against Ukraine has become the biggest conflict in Europe in terms of scale of forces and casualties since World War II, even surpassing the Balkan wars of the 1990s. Beyond its devastating humanitarian impact on Ukrainians (and significant losses for the aggressor as well), the war has had profound global repercussions. It has exacerbated worldwide food and energy crises, and it has starkly revealed the weaknesses of international law and institutions (considering that Russia is a permanent member of the UN Security Council even as it brazenly violates the UN Charter). The war has effectively divided the world into two camps (roughly, democracies vs. revisionist autocracies), reminiscent of a new Cold War. Many countries of the so-called Global South have faced difficult choices – whether to join Western sanctions and efforts to isolate the aggressor or to remain neutral. Notably, China has provided Russia with mostly political support, and India and many others

10 Organization for Security and Co-operation in Europe. (n.d.). The OSCE. URL: <https://www.osce.org/>

11 Welcome to allied command transformation. Nato’s Strategic Warfare Development Command. (n.d.). NATO. ATAN. URL: <https://www.act.nato.int/>

have maintained neutrality, so the alignments are not as rigid as during the old Cold War. Nonetheless, the conflict has revived a bipolar dynamic in international politics.

This war has also dealt a severe blow to decades of arms control efforts. Moscow and Washington signed the New START treaty in 2010 (extended in 2021) to limit strategic nuclear arsenals, but this last major nuclear arms agreement is now in jeopardy: in 2023 Russia “suspended” its participation. Earlier, in 2019, the Intermediate-Range Nuclear Forces (INF) Treaty collapsed after the United States accused Russia of developing prohibited missiles (a violation NATO also confirmed)¹² and subsequently withdrew from the agreement. Thus, two key pillars of the Cold War-era arms control architecture have been shaken. (An even earlier pillar, the ABM Treaty, was abandoned by the U.S. in 2002.) What had been built over decades to reduce the risk of war is now largely dismantled. Experts warn of the danger of a new arms race and the loss of transparency – developments that directly threaten international security.

At the same time, NATO has experienced a revival in response to the return of high-intensity war in Europe. After Russia’s initial aggression in 2014 (the annexation of Crimea and instigation of conflict in Eastern Ukraine), the Alliance deployed rotational troops to its Eastern member states (Poland, the Baltic countries). Following the full invasion in 2022, NATO further reinforced its eastern flank, creating a forward presence that, for the first time in decades, is focused on deterring a large-scale war in Europe. In 2022 NATO adopted a new Strategic Concept that explicitly named Russia as “the most significant and direct threat” to Euro-Atlantic security and also noted the challenges posed by a strengthening China¹³. In essence, NATO has returned to its roots of collective defense and deterrence against a powerful adversary, even as it continues to emphasize cooperative security – i.e. collaboration with partners and international organizations (the EU, UN, etc.) in the pursuit of peace. The European Union has also stepped up as a security actor: alongside imposing economic sanctions on the aggressor, the EU for the first time launched large-scale programs of military assistance to a third country (Ukraine), and began serious efforts to bolster its own defense capabilities (with plans to increase defense

¹² The North Atlantic Treaty Organization. (n.d.). NATO. URL: <https://www.nato.int/>.

¹³ NATO 2022 STRATEGIC CONCEPT. Adopted by Heads of State and Government at the NATO Summit in Madrid 29 June 2022. URL: <https://surl.li/qpvvyji>.

spending, coordinate arms procurement, and so on). Thus, the war in Ukraine refocused Europe's attention on traditional military security.

On the other side of Eurasia, strategic competition between the United States and China has been intensifying. A new web of security alignments is forming in response to China's rise. The U.S. has been cultivating alliances and partnerships across the Indo-Pacific – for example, the Quadrilateral Security Dialogue (Quad) with Japan, India, and Australia, the AUKUS pact with the UK and Australia, and strengthened defense ties with allies like South Korea and the Philippines. The driving force behind these moves is the rapid growth of China's military capabilities and Beijing's more assertive posture regarding Taiwan and disputed areas in the South China Sea. Once again, "deterrence" has become a central concept, now applied to dissuading China. Globally, we see the emergence of two major centers of power (American and Chinese) engaged in sharpening rivalry – economic, technological, and military. This means that international security in the 2020s has begun to exhibit features of a new Cold War (albeit a more fluid and less ideologically rigid one, without the tightly defined blocs of the 20th century).

In parallel with the return of great-power competition, a range of transnational and non-military threats has continued to grow – threats that no single nation, acting alone, can fully address. In fact, these global challenges have become more acute even as geopolitical rivalries deepen. Cybersecurity is now a permanent concern: state-sponsored and non-state hackers regularly launch cyber attacks on critical infrastructure, steal data, and even meddle in democratic elections – all of which are now recognized as elements of international security. The concept of "hybrid threats" has emerged to describe coordinated campaigns combining cyber-attacks, information warfare, and economic pressure to weaken a state without formally waging war. For example, according to Western reports, Russian hackers have attacked power grids in Ukraine and elsewhere and conducted disinformation campaigns. In response to such dangers, NATO has declared cyberspace an operational domain of warfare and has stated that large-scale cyber attacks could be treated equivalent to armed attacks (in theory, potentially triggering a collective defense response).

Climate change has also become widely acknowledged as a "threat multiplier." Shifting climate patterns jeopardize food and water security, exacerbate resource scarcities, and can trigger conflicts and large-scale

displacement of populations. The UN Security Council has periodically debated the link between climate and security; in 2021 a draft resolution was proposed to formally designate climate change as a threat to international peace and security, although Russia vetoed it. Despite such setbacks at the global level, in regional contexts (e.g. in parts of Africa and the Middle East) the UN and researchers have noted correlations between extreme weather events (droughts, floods) and outbreaks of violence or civil strife. International diplomacy has started to develop new mechanisms – such as the Paris Climate Agreement – which, though environmental in form, are in effect tools for the long-term security of humanity.

The COVID-19 pandemic (2020–21) proved to be another painful lesson in global vulnerability. It starkly demonstrated how fragile the world is in the face of biological threats. Although COVID-19 was not a deliberate bio-attack, its effects were global: over 6 million deaths worldwide, a world economy pushed to the brink of recession, and internal instability in many countries. The international health security system (embodied by the World Health Organization) struggled to contain the outbreak, and cooperation among states was often fragmented. This experience led to calls for strengthening the global biosecurity system and pandemic preparedness as integral parts of international security. It also brought renewed attention to the possibility of pathogens being used as weapons – whether through bioterrorism or accidental leaks of dangerous strains – and the need to guard against such scenarios.

Among the more “traditional” security threats that persist is the proliferation of weapons of mass destruction, especially nuclear weapons. In the 21st century, the nuclear club expanded with North Korea (which conducted its first nuclear test in 2006 and several thereafter). The Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT) regime has faced serious challenges: North Korea withdrew from the treaty, and Iran for a long period was suspected of pursuing a clandestine weapons program (the 2015 JCPOA agreement placed limits on Iran’s nuclear activities, but the U.S. exit from that deal in 2018 has left it teetering on collapse). Thus, the risk of new nuclear crises remains. At the same time, there are also countervailing efforts: in 2017, a new Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons was adopted, supported by dozens of states (though notably without the participation of any nuclear-armed powers). This reflects a growing desire in the international community

to move toward complete nuclear disarmament, even if the major powers are not yet ready to embrace that goal.

Another notable achievement in arms control, the Chemical Weapons Convention (in force since 1997), has been largely successful – the vast majority of declared chemical weapon stockpiles have been destroyed under OPCW supervision. However, even this regime has been tested by crises: chemical agents were used in the Syrian civil war and in isolated incidents (such as the 2018 Salisbury poisoning). These violations prompted international responses, including sanctions against the perpetrators, underscoring the need for continued vigilance to uphold established norms.

A new frontier of security is emerging in outer space. Modern societies are increasingly dependent on space-based technologies (satellite communication, navigation, Earth observation), which means that a conflict extending into space could paralyze critical systems on Earth. Several countries (the U.S., China, Russia, India) have been developing anti-satellite weapons. As a result, the question of establishing rules of responsible behavior in space has entered the agenda of international diplomacy, including discussions at the United Nations.

Summing up, in the 2020s international security has two parallel dimensions:

- ✓ a traditional geopolitical dimension, where state power rivalries and military force once again play a dominant role (as seen in the war in Ukraine, the U.S.–China standoff, and renewed emphasis on nuclear deterrence); and
- ✓ a global, comprehensive dimension, where the foremost challenges are transnational problems facing all humanity (climate change, health pandemics, cyber insecurity, terrorism) that require cooperative solutions.

Unfortunately, there is tension between these two dimensions. The rise of mistrust and hostility among the great powers undermines the capacity to jointly tackle common global threats. Analysts characterize the current period as one of fragmentation of the international system. Statistics bear this out: as of the early 2020s, the number of armed conflicts worldwide has reached its highest point since the 1940s¹⁴. More people have been displaced by conflict than at any time since World War II – over 100 million refugees and internally displaced persons globally (a record figure as of 2023,

14 Global Peace Index 2024. (2024). The Institute for Economics & Peace (IEP). URL: <https://surl.lu/pkrffa>

according to the UN)¹⁵. Military expenditures have also spiked dramatically: in 2022, world military spending reached \$2.24 trillion – the highest ever recorded – and it is projected to exceed \$2.7 trillion in 2024¹⁶. Instead of a “peace dividend” after the end of the Cold War, the world has witnessed a new surge in armaments.

Faced with these troubling trends, the international community has been searching for ways to reinforce global security mechanisms and restore cooperation. In 2021, UN Secretary-General António Guterres initiated a broad reflection on the future of multilateral cooperation (“Our Common Agenda”), and in 2023 he presented a New Agenda for Peace¹⁷ – a vision for reforming the collective security system in the 21st century. This document calls for strengthening conflict prevention, revitalizing arms control (including new domains like drones and artificial intelligence), reducing military expenditures, enhancing the role of women in peace processes, and updating the tools of peacekeeping and mediation¹⁸. In parallel, there are ongoing discussions about reforming the UN Security Council to make it more representative and effective – proposals include expanding the Council’s membership and curtailing the veto power in situations of mass atrocities, among other ideas¹⁹.

A major emphasis is also being placed on rebuilding trust among states. Without a baseline of trust, it is nearly impossible to cooperate on either traditional security issues (such as arms control) or emerging challenges. Therefore, experts stress the importance of dialogue even in the midst of conflicts and rivalries. For instance, continuing NATO–Russia communications (to prevent incidents and miscalculations), or U.S.–China talks on cybersecurity and space issues, are crucial to avoid unintended escalation. Even adversaries need channels of communication to manage risks.

In response to the multiplicity of security challenges, the concept of collective security in a broad sense is being reasserted. Unlike the narrower post-World War II notion (which often referred simply to an alliance against an aggressor), 21st-century collective security implies joint efforts by all nations against common

15 Five things to know about the New Agenda for Peace (SEPTEMBER 19, 2023). UNDP. URL: <https://surl.li/xpahra>.

16 Unprecedented rise in global military expenditure as European and Middle East spending surges (28 April 2025). SIPRI. URL: <https://surl.li/flefka>.

17 Three takeaways from A New Agenda for Peace (April, 2022). UN. URL: <https://salolli/34fb581>.

18 Five things to know about the New Agenda for Peace (SEPTEMBER 19, 2023). UN. URL: <https://surl.li/bmlyde>.

19 Launching New Agenda for Peace Policy Brief, Secretary-General Urges States to “Preserve Our Universal Institution” amid Highest Level of Geopolitical Tension in Decades (20 JULY 2023). UNOAU. URL: <https://surl.li/jpfxal>.

threats. A related idea gaining renewed attention is “indivisible security” – the principle that security is shared and interlinked, meaning that instability or war in one region will affect others in an interdependent world, and no country can achieve lasting security at the expense of others. The Ukraine war’s global fallout (economic and beyond) has been a stark reminder that no nation can isolate itself from insecurity elsewhere.

International and regional organizations – UN, NATO, EU, OSCE, and others – are striving to adapt to the new landscape. Notably:

NATO: In its 2022 Strategic Concept, NATO not only returned focus to its core mission of collective defense, but also addressed topics like human security, climate change, and emerging technologies, integrating these issues into its strategy²⁰. This reflects an understanding that non-military factors can influence stability and must be part of security planning.

- ✓ European Union: In 2022 the EU approved a “Strategic Compass” – its first comprehensive threat assessment and action plan for security and defense. This document outlines steps to strengthen the EU’s defense capabilities and acknowledges the need to combine military and civilian tools (diplomacy, sanctions, development aid) to respond to modern threats.
- ✓ OSCE: The Organization for Security and Co-operation in Europe, though weakened by the confrontation between Russia and the West, remains valuable due to its unique forum that includes 57 states – all key players in Euro-Atlantic and Eurasian security, including those currently in conflict. Even during the war in Ukraine, the OSCE has been implementing projects such as demining efforts, assistance to affected communities, and human rights monitoring – exemplifying “soft security” contributions on the ground despite a hard security stalemate.

Finally, it is important to recognize the role of non-governmental actors – expert groups, academic institutes, and civil society – in shaping new thinking about security. Many contemporary security initiatives (for example, the movement leading to the Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons, or various climate security campaigns) have grown out of public advocacy and pressure. Greater information transparency and digital connectivity now allow the public

20 NATO 2022 Strategic concept. Adopted by Heads of State and Government at the NATO Summit in Madrid (29 June 2022). URL: <https://surl.li/gdcfvp>.

to scrutinize government actions in the security realm more than ever before. This creates pressure for security policies to be more accountable and oriented not only toward narrow national or elite interests, but toward humanitarian values and the common good.

Over the last century, the concept of international security has changed dramatically – evolving from a narrow understanding of security as merely the absence of war between great powers to a complex vision encompassing military, political, economic, social, and environmental dimensions. Theoretical approaches have expanded accordingly: from traditional realism, with its emphasis on power and balance, to liberal and institutional models of cooperation, and further to constructivist and critical paradigms that highlight the importance of ideas, identities, and human factors. Today it is understood that international security is multi-layered: it begins with the security of individuals and communities, rises through the level of the state and region, and ultimately extends to the global scale.

The current state of international security is mixed. On one hand, international institutions and legal norms have become an indispensable part of the security landscape. Despite their flaws, the United Nations Security Council, multilateral arms control treaties, and regional organizations like NATO, the OSCE, the African Union, ASEAN, and others have accumulated experience and tools that help restrain or resolve many crises. Conflicts are generally more localized today – the world has so far avoided a new global war, and the major powers have up to now refrained from direct armed confrontation with each other. Many states that were once adversaries have been integrated into shared security frameworks. For example, most European countries are today linked by alliance obligations or at least common institutions (such as the OSCE and EU), making war between them almost inconceivable.

On the other hand, new fractures in the world order are calling those achievements into question. Recurrences of aggressive nationalism (as in Russia's case) show that basic security norms can be brazenly violated if they are not backed by effective guarantees. The nuclear factor has re-emerged in a disturbing way: explicit threats of nuclear weapon use – heard recently from Russia – undermine a 75-year-old taboo and could provoke proliferation (as other countries might decide they too need nuclear arsenals for protection).

Meanwhile, the race to develop new military technologies (from hypersonic missiles to AI-driven weapons) is outpacing the creation of rules to govern their use, raising the specter of uncontrolled and destabilizing consequences should conflict erupt.

Nonetheless, the history of the international security concept suggests that crises often become catalysts for positive change. After the darkest moments – the world wars – humanity did find the strength to build institutions and norms to prevent repeat catastrophes. It is possible that today's grave challenges will likewise spur a reimagining of collective security on a new level. The UN's New Agenda for Peace discussed above is one such attempt to renew a global consensus on core security principles: to reaffirm the inadmissibility of aggression, to develop new agreements for arms control (including in cyber and outer space), and to invest in preventive diplomacy and peacekeeping, thereby strengthening the world's resilience to shocks.

At the regional level, there is also potential to improve the security architecture. In Europe, once the war in Ukraine ends, there will be a pressing task of constructing an updated security architecture that accounts for the lessons of Russia's aggression. This will likely require a combination of deterrence (maintaining a strong defense posture to ward off any future aggression) and a renewed commitment to principles of indivisible security (ensuring that no country seeks to increase its own security by threatening the security of others). We may also see a revival of arms control efforts in Europe – new agreements designed to avoid dangerous buildups of forces and weaponry along contested frontiers. In Asia, to prevent a conflict over Taiwan or in the South China Sea, it will be crucial to develop dialogue mechanisms among the U.S., China, and other regional powers – possibly moving toward some form of an Asian security forum analogous to the OSCE, to manage tensions and build confidence.

Increasingly, the concept of resilience is becoming central to international security. Resilience refers to the ability of states and societies to withstand shocks and recover quickly from disruptions. Enhancing resilience involves measures such as cyber defenses (to resist and rebound from cyber attacks), energy security arrangements (so that countries are not easily blackmailed by cuts to critical resources), and secure supply chains (to reduce vulnerabilities to economic warfare). Integrating resilience into security strategy is very much

a sign of the times – NATO, for example, has made resilience of national infrastructures a key element of its planning.

In summary, international security is a dynamic concept, shaped by both ideas and the hard “punches” of reality. Theoretical approaches give us tools of analysis – reminding us that security has military, political, economic, and human dimensions; that we must ask “Security for whom?” (for states? for people?); and “Security from what?” (from aggression, from poverty, from climate catastrophe?). Practice, however, reminds us that the focus must remain on concrete mechanisms to prevent wars and conflicts. The 20th century and the beginning of the 21st have provided humanity with tragic lessons as well as valuable achievements – international law, institutions, and a legacy of cooperation. The task of the current and coming generations is to preserve and update those achievements, to devise new tools suited to new threats, and above all to not lose sight of the strategic goal: building a world in which peace and security are a global common good guaranteed to all peoples. As NATO’s vision declares: “We want to live in a world where sovereignty, territorial integrity, human rights and international law are respected... We stand together for a more peaceful world.” These words capture the ideal to which we should aspire in shaping the concept of international security in the 21st century – a concept founded on shared values, responsibility, and cooperation, in spite of all differences [9] [10].

The concept of international security has undergone a profound transformation from a narrowly defined, state-centric, and militarized construct to a multidimensional and dynamic framework that incorporates political, economic, environmental, societal, and human factors. This evolution has been driven not only by theoretical diversification – from realism and liberalism to constructivist and critical approaches – but also by historical shifts in the nature of global threats and power configurations.

While traditional paradigms such as realism and liberal institutionalism remain relevant – particularly in the context of renewed great-power rivalry and the resurgence of high-intensity conflicts – their explanatory sufficiency is increasingly challenged by transnational phenomena that defy conventional state-based responses. The integration of human security, securitization theory, and comprehensive security models has expanded the analytical boundaries of the field and underscored the necessity of inclusive, preventive, and cooperative strategies.

The 21st century has exposed the limitations of existing security architectures. The erosion of arms control regimes, the fragmentation of international consensus, and the growing militarization of emerging domains such as cyberspace and outer space point to a deteriorating normative environment. At the same time, the persistence of global challenges – climate change, pandemics, migration, and technological disruption – demands a reconceptualization of international security as a truly collective and indivisible good.

Accordingly, the future of international security lies in the ability of the international community to reconcile geopolitical deterrence with cooperative resilience. This requires revitalizing multilateral institutions, enhancing strategic dialogue among rival powers, and embedding normative commitments to human dignity, environmental sustainability, and technological accountability within the global security agenda. Only through such an integrative approach can the international system effectively respond to the complexity of 21st-century threats while safeguarding the foundational principles of peace, sovereignty, and global justice.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-188-202

ТИМОШЕНКО Віра Іванівна,
д-р юрид. наук, професор,
Національна академія внутрішніх справ
ORCID ID: 0000-0003-2947-5627

ПРАВОПОРУШЕННЯ ЯК НАСЛІДОК СОЦІАЛЬНОЇ НЕСПРАВЕДЛИВОСТІ

Несправедливість є природним компонентом соціуму, вона відтворюється у діяннях людей, у міжособистісних відносинах, у відносинах між громадянами й державою (в особі чиновників), у сприйнятті й оцінюванні людьми рівня, якості життя, їх особистої ролі й становища в суспільстві, ролі інших осіб. Субстанційну основу соціальної несправедливості утворюють несправедливі, передусім нерівноцінні соціальні відносини, що забезпечують перевагу окремим особам або спільнотам, тим самим принижують людську гідність інших осіб і спільнот, порушують права людини. Істотними детермінантами соціальної несправедливості є аморальність

поведінки суб'єктів, егоїзм, агресивність, дегуманізація владних, правових, політичних, економічних відносин, низький рівень соціальної відповідальності, розуміння свободи як власної сваволі. Загалом феномени справедливості та несправедливості на рівні індивідуальної свідомості та поведінки – це надзвичайно суперечливі явища, переплетення позитивного та негативного, уразливості та ресурсів людини. Справедливість має неоднакову значимість для різних людей, і якщо для когось це головний мотив поведінки, то інші реалізують свої життєві плани зовсім не звертаючись до ідеї справедливості та ігноруючи законні інтереси інших людей.

Люди можуть вбачати несправедливість у будь-чому. Оцінка ситуації як несправедливої є виправданим за наступних обставин: якщо порушуються права людини; порушення прав здійснюється не самим постражданим, а іншими людьми або групами людей; порушник мав можливість вчинити інакше; діяння, або навпаки, відсутність потрібного діяння було навмисним; правопорушник не отримав адекватної відповіді¹. Соціальна несправедливість найчастіше є результатом діяльності осіб, яким притаманний дефіцит культури, моральності, соціальної відповідальності, властивий егоїзм, нарцисизм, звичка маніпулювати іншими людьми та деформація правосвідомості.

Несправедливість стосовно особи має місце у тому випадку, якщо на неї прагнуть вплинути, застосовуючи фізичне або психологічне насилля з метою змусити вчинити дії, що шкодять її інтересам, або корисні лише для інших осіб. Для кваліфікації того чи іншого діяння як справедливого або несправедливого необхідно враховувати менталітет, особливості того суспільства, членами якого є ці особи, соціально-політичний устрій тощо. До того ж слід розмежовувати соціальну несправедливість та індивідуальну несправедливість. Іншими словами, соціальна несправедливість виникає через дії людини, але не обов'язково за людським задумом. Соціальна несправедливість – це побічний ефект певних соціальних, моральних та політичних практик. Соціальна несправедливість виникає, коли інституційний устрій породжує розподіл благ, який є несправедливим, незалежно від навмисного задуму окремих осіб. Сутність соціальної несправедливості проявляється

1 Mikula G. On the experience of injustice. *European Review of Social Psychology* / Eds.: W. Stroebe & M. Hewstone. Chichester: Wiley. 1993. Vol. 4. P. 223–244.

в конфліктах між різними суб'єктами. На рівні соціальних взаємодій поняття «соціальна несправедливість» сприймається як сукупність вчинків, суспільних відносин, комунікацій, які звужують сфери вільної життєдіяльності та самовизначення, а також розцінені соціальними групами або окремими особами як несправедливість, що обов'язково включає психологічне переживання особою стосовно свого соціального статусу. Несправедливість є наслідком або причиною конфлікту.

На сьогоднішній день відсутня єдина інтерпретація терміну «конфлікт». У філософському розумінні конфлікт (лат. *conflictus* – зіткнення) є особливою, крайньою формою розвитку протиріч у відносинах між людьми, соціальними групами, суспільствами загалом, що характеризується зіткненням протилежно спрямованих інтересів, цілей, позицій суб'єктів взаємодії. Кожна сторона конфлікту займає позицію, несумісну і протилежну стосовно інтересів іншої сторони. Конфлікти є найбільш поширеною в історії людства формою соціальної взаємодії. «Будь який реальний конфлікт, безпосередньо пов'язаний з часовими, просторовими та соціальними параметрами і представляє собою форму соціальної взаємодії, спрямованої на вирішення протиріччя»². Але вирішення протиріччя не завжди відбувається в межах закону.

Характерною рисою сучасності стали безперервні конфлікти та кризи у сфері прав людини – від російсько-української війни, під час якої страждає мирне населення, до голоду в ряді країн Африки, в Афганістані. Мільйони людей у світі змушені існувати за умов несправедливості, зневіри щодо можливостей змін на краще, постійного страху пересічної людини за своє життя. Зокрема в Україні окрім війни, яку Росія вже третій рік веде проти України, небаченого раніше поширення набула корупція, постійні трансформації та реформи, кожна з яких лише погіршує життя народу, відсутність натяку на стабільність, непрофесіоналізм можновладців, занепад економіки, величезні багатства одних і бідність або навіть злидні більшої частини населення, а отже й соціально-економічна нерівність, порушення прав людини. Картину доповнює зниження якості освіти, занепад науки, фінансування якої все більше скорочується, руйнація сфери охорони здоров'я, згортання соціального захисту населення, яке

2 Балтаджи П. М., Суханова Д. С. Соціальний конфлікт в контексті нової реальності. Південноукраїнський правничий часопис. 2021. № 4. С.79. DOI: <https://doi.org/10.32850/sulj.2021.4.13>.

обурюється з приводу несправедливості. Криза соціальної сфери стимулює конфлікти в суспільстві.

Причинами конфліктів найчастіше є соціальна нерівність та культурна неоднорідність. Причиною може бути несправедливий доступ до ресурсів та певних видів діяльності, різне розуміння індивідами правил поведінки, протиріччя між суспільством та державними структурами тощо. Навіть зміна клімату за певних умов збільшує ризик конфліктів та призводить до появи численних форм агресивної поведінки людей³. Можна виділити чотири причини, через які клімат впливає на конфлікт: економічні потрясіння; занепад сільського господарства; конкуренція за природні ресурси; вимушена міграція. Між цими подіями та конфліктом є безпосередній причинно-наслідковий зв'язок. Але соціальні причини самі необов'язково призводять до конфліктних зіткнень. Суб'єктами конфліктів зрештою є конкретні люди, тобто окремі особи, або групи людей. Для того, щоб соціальні причини конфлікту дійсно призвели до його виникнення, необхідним є особистісне залучення, усвідомлення несправедливості становища, що склалося. Основним особистісним суб'єктивним спонукальним мотивом конфлікту є незадоволена потреба, а саме потреба особистого існування, потреба в безпеці, потреба у творчості, духовному зростанні, самореалізації тощо. Якщо якась потреба не знаходить задоволення, людина відчуває занепокоєння, невдоволення, страх та інші негативні емоції. Чим довше триває стан незадоволеності, тим більш сильні ці емоції, тим більш важкий стан людини. У такій ситуації вона може відмовитись від задоволення своєї потреби, або знайти інші способи її реалізації, або ж намагатись досягти бажаного шляхом агресії. Останній шлях веде до конфліктів. Об'єктом агресії є той об'єкт, який перешкоджає задоволенню певної потреби. Це може бути людина, група, суспільство загалом. Той, на кого спрямована агресія, також відповідає агресивною дією.

Причиною соціального конфлікту є економічна депривація та соціально-економічна нерівність, з якою безпосередньо пов'язана несправедливість. І перше, і друге може спричинити агресію та призвести до правопорушення. Характерними ознаками економічної депривації

3 Miles-Novelo A., Anderson C. Climate Change and Psychology: Effects of Rapid Global Warming on Violence and Aggression. *Current Climate Change Reports*. 2019, March. Vol. 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00121-2>.

є безробіття, відсутність засобів до існування, невпевненість у завтрашньому дні, апатія, депресивність, фрустрованість, що призводить до психоемоційної дестабілізації та конфліктів⁴. До факторів, що визначають соціально-економічну нерівність, відносять наступні показники: рівень доходу та доступ до капіталу; доступ до якісної медицини та освіти тощо. Нині понад дві третини населення світу відчувають зростаючу нерівність у доходах і добробуті. Тобто дві третини населення мають підстави для конфлікту. Зараз 8,5 % населення світу живе у злиднях. У бідності – менше половини всього населення. Про це йдеться у звіті Світового банку за 2024 рік⁵. Водночас статки 2 781 мільярда в 2024 році зросли на \$2 трлн. Зараз спостерігається найбільше зростання глобальної нерівності та бідності за часів Другої світової війни.

Різне соціальне розмежування, бідність більшості населення – це соціальні феномени, які в сучасній Україні досить відчутні. Термін «соціальна нерівність» свідчить, що окремі соціальні групи мають різний соціальний статус, який тягне за собою різні можливості доступу до ресурсів і, відповідно, економічну нерівність. «Соціальна нерівність спонукає членів соціуму до невдоволення діями влади, до виникнення конфліктних ситуацій, до сприйняття соціальної нерівності з позицій соціальної несправедливості та усвідомлення відсутності рівності можливостей. Соціальна нерівність сприймається як деструктивне явище, як зло, що необхідно подолати»⁶.

Світовий банк зараховує Україну до країн, де бідною вважають людину, яка живе на менш ніж 5,5 доларів на день (приблизно 228 грн за курсом на 8 травня 2025 р.) Тобто бідними є люди, які живуть на менш ніж 7 000 грн на місяць. При цьому згідно з даними Пенсійного фонду України, станом на 1 жовтня 2024 року 25,79 % пенсіонерів отримують виплати у розмірі менш як 3000 гривень. Середній розмір пенсій в Україні на 1 жовтня 2024 р. становив 5 851,86 грн⁷. З 1 січня 2025 року розмір дер-

4 Шмарова Н. В. Психологічні особливості впливу економічної депривації на фрустрованість потенційних мігрантів: факторний профіль [Текст] / Н. В. Шмарова. Актуальні проблеми психології: Збірник наукових праць / За ред. С. Д. Максименка. Житомир: Вид-во ЖДУ імені І. Франка, 2020. Т. 6: Психологія обдарованості, Вип. 17. С. 291.

5 The World Bank Annual Report 2024 (data is as of September 29, 2024). URL: <https://www.worldbank.org/en/about/annual-report>.

6 Tymoshenko V. I. Injustice and poverty as a threat to the national security of Ukraine. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series LAW*. 2024. Vol. 1. Issue 82. P. 138. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.82.1.19>.

7 Пенсійний фонд назвав середній розмір виплат у жовтні. 14 жовтня 2024. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3916157-pensijnij-fond-nazvav-serednij-rozmir-viplat-u-zovtni.html>.

жавної соціальної допомоги людям, що досягли пенсійного віку, але не мають належного трудового стажу (соціальна пенсія), становить 3028 грн. Відповідно є особи, що житимуть на 101 грн в день. А є й такі, що не отримують нічого. Така ситуація нерідко породжує конфлікти, що призводять до правопорушення.

Правопорушення найчастіше скоюються в містах. У великих містах кількість злочинів майнового характеру, злочинів, скоєних на побутовому ґрунті, насильницького характеру, хуліганства, групових злочинів зазвичай виявляється більшою, ніж у невеликих містах. Основними чинниками правопорушень у містах є бідність та безробіття, маргіналізація молоді, розпад культури, погане міське планування та неправильне використання громадських місць⁸. Однак ці фактори не обов'язково призводять до злочину і злочинності, що є результатом процесу сприйняття-вибору та криміногенного стану середовища проживання мешканців. Соціальні несприятливі умови не є причинами злочинності, але є критичними факторами, що призводять до криміногенного впливу та схильності до злочинів у мешканців⁹. Вказані фактори свідчать про конфлікт, спосіб вирішення якого може бути протиправним, а значить і несправедливим.

До правопорушення нерідко призводить також бездомність та поневіряння. Безхатьки схильні до високого ризику віктимізації насильницькими злочинами, а також високої поширеності психічних розладів¹⁰. Особливо це стосується молоді. Досить поширеними причинами, через які молоді люди схильні ставати безхатьками, є їх принизливе становище, розпад сім'ї, фізичні та психічні захворювання, участь у бандах і вихід з-під опіки¹¹.

Наслідком конфлікту та фактором правопорушення може бути імміграція¹². У світі постійно ведуться дебати та зростає соціальна напруга з приводу можливої «міграційної кризи» та схильності мігрантів до

8 Gutiérrez M., Núñez J., Rivera J. Socio-economic and geographic profiling of crime in Chile. *CEPAL review*. 2009. Vol. 98. P. 159–174. DOI: <https://doi.org/10.18356/f96da77d-en>.

9 Wikström P. O. H., Treiber K. Social Disadvantage and Crime: A Criminological Puzzle. *American Behavioral Scientist*. 2016. Vol. 60. IO. P. 1232–1259. DOI: <https://doi.org/10.1177/0002764216643134>.

10 Nilsson S. F., Laursen T. M., Andersen L. H., Nordentoft M., Fazel S. Homelessness, psychiatric disorders, and violence in Denmark: a population-based cohort study. *The Lancet Public Health*. June. 2024. Vol. 9. Issue 6. P.376–385. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(24\)00096-3](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(24)00096-3).

11 Self T., Miles H., Harding B. The relationships between youth homelessness and offending: A systematic review of the UK literature. *Children and Youth Services Review*. 2024. Vol. 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2024.108032>

12 Unlu A., Gurer C. Crime and Violence Studies in the Immigration Field: Interactions between Disciplines and Emerging Concepts. *Journal of Ethnic and Cultural Studies*. 2022. Vol. 9. № 1. February. P. 185–205. DOI: <http://dx.doi.org/10.29333/ejecs/1021>.

нелегального перетину кордонів і вчинення злочинів¹³. Все частіше лунають заклики заборонити в'їзд мігрантів в ту чи іншу країну. Зокрема, влада США через кілька днів після вступу Дональда Трампа на посаду президента розпочала масову депортацію мігрантів, які нелегально перебувають у країні¹⁴.

Несправедливість мігранти відчують на собі досить часто. Їхні права можуть порушуватись, що призводить до конфліктів. Не знаючи мову країни, в яку прибули, їм складно знайти роботу, житло, здобути освіту. Мігранти потерпають від насильства, дискримінації і страждань на маршрутах своїх подорожей з батьківщини в інші країни. На своєму шляху біженці та мігранти можуть зіткнутися з голодом, жорстоким поведінням та експлуатацією, торгівлею людьми та викраденням. Вони можуть просто загинути. Табори для біженців і центри депортації іммігрантів зазвичай перенаселені, там переважають антисанітарні умови. У такому середовищі поширюються інфекційні захворювання, а психічне здоров'я і психосоціальні розлади часто залишаються без лікування. До того ж біженцям доводиться адаптуватись до нових соціокультурних норм приймаючого суспільства, де вони зіштовхуються з расизмом та дискримінацією. Такі загрози призводять до шкідливих наслідків для фізичного та психічного здоров'я, ще більше ускладнюють конфліктні ситуації, сприяють маргіналізації.

У 2024 році кількість мігрантів, які нелегально в'їжджають до Європейського Союзу, скоротилася приблизно на 38 %. Разом із тим, кількість людей, які перетинають кордони Європейського Союзу (ЄС) з Білоруссю та Росією, збільшилась на 192 % і досягла 17 тисяч, – повідомляє прикордонне агентство ЄС Frontex. Велика кількість мігрантів прибула з Сирії, Афганістану, Єгипту та африканських країн. На 14 % збільшилась кількість спроб нелегального перетину кордону на східному середземноморському маршруті через нові коридори зі східної Лівії, де переважають мігранти з Сирії, Афганістану та Єгипту. До того ж на 18 % зросла кількість мігрантів, які прямують західноафриканським

13 Koster M, Reinke H. Migration as Crime, Migration and Crime. *Crime, History & Societies*. 2017. Vol. 21. № 2. P. 63-76. DOI: <https://doi.org/10.4000/chs.1793>.

14 Ковянов К. США розпочали депортацію нелегальних мігрантів: перший рейс вилетів до Гватемали. 2025, 24 січня. URL.: <https://weukraine.tv/novyny/ssha-rozpochali-deportatsiju-nelehalnikh-mihrantiv-pershij-rejs-viletiv-do-hvate-mali/>

маршрутом до Канарських островів¹⁵. Не завжди їх адаптація на новому місці відбувається безконфліктно. Зокрема, складна ситуація з безпекою через наплив мігрантів склалася в Швеції. Країна стикається з національною кризою через нездатність успішно інтегрувати рекордну кількість мігрантів. Основною причиною кризи є поєднання політики відкритих дверей щодо міграції з відсутністю супутньої політики, що допомагає інтегруватися. Наслідком стала поява районів, де майже всі жителі – іммігранти, де рівень безробіття дуже високий, а діти ходять до шкіл, де жодна дитина, часто навіть вчителі, не володіє шведською мовою. Такі місця стали осередком поширення злочинності¹⁶.

На розвиток суспільства і держави вкрай негативно впливають збройні конфлікти, що призводять до руйнувань, погіршення умов життя, порушення прав людини, непотрібних витрат і знецінення тощо¹⁷. Війна є конфліктом між політичними утвореннями (державами, політичними угрупованнями тощо), що відбувається на основі різних претензій у формі збройного протистояння, військових (бойових) дій між їхніми збройними силами. Під час війни зазвичай зростає кількість злочинів. Так, в Україні з початку повномасштабного російського вторгнення зросла кількість злочинів проти національної безпеки. Це пропаганда війни, розв'язання та ведення агресивної війни, порушення законів та звичаїв війни, поширення забороненої символіки, виправдання чи заперечення російської агресії, екоцид, геноцид, найманство тощо¹⁸. До того ж в російсько-українській війні набули поширення воєнні злочини як порушення міжнародного гуманітарного права або національного законодавства військовослужбовцем або іншою особою, яка бере участь у збройному конфлікті або залучена до воєнних дій, з метою заподіяння шкоди цивільному населенню, військовополоненим, об'єктам культурної спадщини тощо. До таких дій можуть належати, наприклад, вбивства, тортури, насильство, сексуальні злочини, етнічні чищення, насильство

15 Костіна І. Нелегальна міграція в ЄС торік різко скоротилася, зросло число прибуттів з РФ і Білорусі. 2025, 14 січня. URL.: <https://www.eurointegration.com.ua/news/2025/01/14/7202519/>

16 Hedlund S. Sweden stares into the abyss. 2004. February 9. URL.: <https://www.gisreportsonline.com/t/sweden-immigrants-crisis/>

17 Vesco P., Baliki G., Brück T. et al. The impacts of armed conflict on human development: A review of the literature. *World Development*. 2025. Vol. 187. March. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106806>.

18 Як змінювалась кількість злочинів проти нацбезпеки під час війни в Україні. 2024, 25 січня. URL.: <https://www.slovovidlo.ua/2024/01/25/infografika/bezpeka/yak-zminyuvalas-killist-zlochyniv-proty-naczbezpeky-vijny-ukrayini>.

щодо дітей, насильницьке переміщення населення та інші злочини, які тягнуть за собою відповідальність відповідно до міжнародного права. Зазначені злочини, безумовно, слід вважати злочинами проти людяності, оскільки вони відрізняються особливою жорстокістю та масовістю, а також мають виключно навмисний характер і становлять серйозну загрозу гуманітарній ситуації як в окремо взятій державі, так і в усьому світі¹⁹.

До подібних наслідків призводить і внутрішньодержавний конфлікт. Внутрішній збройний конфлікт є кінцевим проявом зіткнення інтересів двох суб'єктів – держави та недержавної групи, які кидають виклик легітимності одна одної. Держава в першу чергу реагує насильством на тих, хто заперечує її легітимність, чи то насильно, чи ненасильно. Це ситуація, в якій як державні, так і недержавні суб'єкти чи повстанські групи використовують насильство для обґрунтування своїх домагань на політичну владу та примусу до громадянської підтримки. Громадянська війна руйнівна у багатьох відношеннях. Зокрема вона загрожує фізичним насильством, коли цивільні особи переміщаються, зазнають нападів та гинуть на територіях, де воюють повстанці з урядовими військами²⁰.

Названі вище фактори призводять до політичних та економічних криз, нацизму, шовінізму, аномії, деформації правосвідомості населення, що, у свою чергу, посилює конфліктність у суспільстві та сприяє несправедливості. Нестабільність ситуації та невизначеність норм ведуть, по-перше, до того, що все більше людей не задовольняють свої потреби, і, по-друге, людям легше «переступити» рамки дозволеного, оскільки ці «рамки» в аномічному суспільстві втрачають чіткість.

На даний момент одним із найефективніших засобів урегулювання та вирішення конфліктів є право. Але до цього способу вдаються не всі. Досить часто конфлікт намагаються вирішити шляхом вчинення правопорушення.

На практиці трапляються випадки, коли особливо тяжкий насильницький злочин (наприклад, вбивство) вчиняється за відсутності очевидного

19 Loshytskyi M., Kolotilov O., Bogdanov R., Verbytskyi V., Cherniienko A. War crimes and ensuring Ukraine's national security through the prism of Russia's armed aggression. *Revista De Gestão E Secretariado*. 2023. Vol. 14. Issue 10. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2885>.

20 Joshi M. Civil war violence and competing legitimacy claims: Evidence from district level courts cases in Nepal. *Political Geography*. 2024. Vol. 109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2023.103044>.

конфлікту, взагалі нібито-то без причини. Це свідчить про особливу аморальність та цинізм винного, що відчуває уявну всюдозволеність і реалізує бажання самоствердження. Але саме аморальність і цинізм є свідченням наявного конфлікту суспільних цінностей злочинця і законслухняної частини населення.

Звичайно ж кримінальне насильство є більш поширеним у світі, ніж організоване політичне насильство. При цьому вивчення злочинності за своєю сутністю є складним, що значною мірою обумовлено безліччю базових факторів, які діють як на макро-, так і на мікрорівнях, від індивідуальних процесів прийняття рішень до ширших соціальних та структурних впливів²¹. Динаміка зв'язку між несправедливістю, протиправною поведінкою та суспільним конфліктом у кожному разі різна, однак існують деякі ключові причинно-наслідкові механізми, які зазвичай пов'язують незаконну діяльність із негативними результатами конфлікту. Перш за все це стосується зміни структури стимулів і мотивацій на індивідуальному, груповому та суспільному рівнях. Так, наприклад, на індивідуальному рівні в конфлікті можуть брати участь найманці, які мають навички та мотивацію до скоєння правопорушень і тим самим сприяють тому, що протистояння стає більш жорстким. Як відомо, найманцями є озброєні цивільні особи, які отримують кошти за виконання ними військових операцій в іноземній зоні конфлікту. Те ж саме відбувається й на груповому рівні, де мета групи, особливо організованої злочинної групи, може бути іншою, ніж отримання грошей. Так, війна надає певні можливості для тероризму та організованої злочинності завдяки зменшенню можливостей держави щодо правозастосування, до того ж виникають економічні труднощі, з якими стикаються цивільні особи під час війни і які використовують злочинці. У свою чергу організована злочинність також впливає на інтенсивність та тривалість війни, дозволяючи бойовикам матеріально відтворювати себе та створювати певні інституції серед спільнот, де вони діють. Відносини між збройними групами та місцевим населенням стають центральною темою у розумінні зв'язку злочинності та конфлікту²². Ви-

21 Thomas K. J., Baumer E. P., Loughran T. A. Structural predictors of choice: Testing a multilevel rational choice theory of crime. *Criminology*. 2022. Vol. 60. Issue 4. P. 606–636.

22 Steenkamp C. The Crime-Conflict Nexus and the Civil War in Syria. *Stability: International Journal of Security and Development*. 2017. Vol. 6. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.5334/sta.522>

користання злочинних груп для фінансування війни змінює економічну систему країни в такий спосіб, щоб стимулювати продовження конфлікту. Хоча конфлікт не є сприятливим для економіки в цілому, загальні вигоди для тих груп, які безпосередньо залучені до «військової економіки», означають, що вони мають стимули для продовження конфлікту. Все це сприяє трансформації базової динаміки конфлікту²³.

Простежується зв'язок і між корупцією, що безпосередньо пов'язана з несправедливістю, конфліктом і протиправною поведінкою. Сама по собі корупція вже заперечує право. Разом із тим вона є «соціальним стресором»²⁴, що пригнічує людину, яка бачить несправедливість, але не може вплинути на ситуацію. Завдяки корупціонерам вона не може отримати гідну роботу, заробітну плату, доступ до соціальних ресурсів, відчувається безсилою, особливо якщо не має фінансових ресурсів, впливових друзів та зв'язків для конкуренції. Корупція може викликати почуття гніву, ворожості та розчарування через несправедливість соціального середовища і, таким чином, може посилити депресивні симптоми. Ці негативні почуття виникають внаслідок невідповідності між очікуванням того, що система має бути справедливою, що в країні є закони і вони виконуються, і прямими та непрямими доказами того, що це не так. Отже, «корупція згубно впливає на психічне здоров'я» населення²⁵. Такий стан речей може підштовхнути людину до думки, що ситуацію слід вирішувати у будь-який спосіб, у тому числі незаконний.

Поширенню протиправної поведінки сприяє й часте звернення державних владних інституцій до силових методів вирішення конфліктів, що несумісні зі справедливістю. Цьому сприяють труднощі в комунікації сторін, відсутність взаєморозуміння, низький рівень довіри між сторонами, впевненість, що за допомогою сили можна досягнути більшого, ніж шляхом переговорів.

Сьогодні визнається безперечним, що культурні установки впливають на стратегії поведінки учасників конфлікту, на вибір ними способів його вирішення, у тому числі й на агресивну поведінку. Ідеали непримиренності,

23 Shaw D. O. The Crime-Conflict Nexus: Connecting Cause and Effect. 2019. Jun, 27. URL.: <https://www.e-ir.info/2019/06/27/the-crime-conflict-nexus-connecting-cause-and-effect/>

24 Sharma S., Singhal S., Tarp F. Corruption and mental health: Evidence from Vietnam. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2021. Vol. 185. P. 125–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2021.02.008>

25 Deurzen I. van. And justice for all: Examining corruption as a contextual source of mental illness. *Social Science & Medicine*. 2017. Vol. 173. January. P. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2016.11.033>.

готовності «йти до кінця», стандарти «боротьби до останнього» призвели до відвертого домінування силових методів впливу на партнера у конфлікті. Спочатку йде «проба» силових методів (від спроб наполягти на своєму, умовити, довести пріоритет своєї позиції до «жорсткого» тиску, загроз, різних форм шантажу і т. ін.) і лише після цього – якщо успіху не досягнуто – партнери вимушено переходять до переговорів²⁶.

Якщо культурні стереотипи вимагають від людини «бути сильною», «бути на рівні», то людина, прагнучи відповідності своєї поведінки поширеним культурним зразкам, використовуватиме силові методи. Наприклад, на думку багатьох дослідників, вже в галузі виховання та освіти, суперечачи самому собі у сповідуваних ідеях загальної солідарності та гуманізму, суспільство насаджує досить жорсткі та агресивні способи вирішення суперечностей. Більшість, тобто суспільство, не завжди схильна до справедливості. Сутність же конфлікту проявляється не стільки у виникненні протиріч, скільки в способі їх вирішення. Кризи та конфлікти в одних суспільствах вирішуються драматично, в інших – мирно. На це впливають культурні стереотипи та розуміння несправедливості.

Таким чином, люди та соціальні групи, що мають різні інтереси, різні позиції щодо їх досягнення, в процесі життєдіяльності досить часто вступають у протиборство один з одним і шукають можливість завадити супернику досягти своєї мети та реалізувати свої інтереси. Таке протиборство може відбуватись шляхом суперечки, погроз, залякування, застосування фізичної сили або зброї та вдаючись до несправедливих рішень, що призводять до конфліктів.

Несправедливість є глибинною основою конфлікту. В її основі несправедливі, передусім нерівноцінні соціальні відносини, що забезпечують перевагу окремим особам або спільнотам, тим самим принижують людську гідність інших осіб і спільнот, порушують права людини. Неможливість законним шляхом реалізувати свої права та інтереси нерідко зумовлена саме несправедливістю, що пов'язана з соціальною нерівністю, бідністю, війнами, кризами, втратою культурних і моральних цінностей, корупцією, причому остання ще більше посилює несправедливість та руйнує державу.

26 Гришина Н. В. Психология конфликта. 2-е изд. Санкт-Петербург.: Питер, 2008. 544 с: ил. (Серия «Мастера психологии»). С. 348.

Важливою рисою кризових суспільств є широке поширення серед населення почуття несправедливості, незахищеності та страху. Це супроводжується депресією, зневірою, зростанням агресивності, що сприяє конфліктам і посилює їх характер, аж до вчинення правопорушень. Головне при вирішенні конфлікту – це пошук цивілізованих способів досягнення інтересів сторін. Такими способами є компроміс, взаємні поступки, припинення протистояння, налагодження співробітництва, системи конструктивних зв'язків та взаємодій без порушень закону. Дієвим способом вирішення конфліктних ситуацій може бути право, але лише за умов належного правозастосування.

Ідеал справедливості завжди є більш досконалим, ніж наслідки його практичного втілення. Найбільш ефективним способом усунення несправедливості та запобігання правопорушенням є знаходження взаємоприйнятних рішень на основі злагоди та співробітництва, компромісних рішень, що спрямовані на захист прав людини і громадянина. Саме справедливість є основою цих прав.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-202-214

КОЦАН Лілія Миколаївна,
кандидат екон. наук (PhD), доцент,
Ягеллонський університет в Кракові
(Польща),
магістрант спеціальності «Психологія»,
Волинський національний університет імені Лесі Українки
ORCID ID : 0009-0000-5809-0764
Україна

КОУЧИНГ ЯК ГАЛУЗЬ РОЗВИТКУ МОТИВАЦІЇ ТА ПСИХОЛОГІЧНА ПРОДУКЦІЯ

На сьогоднішній день коучинг позиціонує себе як різноманітна, нова та широко поширена сфера діяльності. Хоча цей підхід до навчання та розвитку навичок з'явився не так давно, але дуже швидко став популярним, охопивши широкий спектр послуг. З огляду на різноманітність та зростання послуг, що пропонуються коучингом, виникає все більше питань щодо результативних чи то продуктивних ознак цієї психологічної технології. Опис та критичний аналіз коучингу з академічної точки зору є складними та необхідними завданнями, головним чином через різноманітність існуючих концепцій, широту теоретичних та практичних підходів, що підтримують практику коучингу. Ця проблема є актуальною як для аналізу систематичних перспектив, спрямованих на підтримку практики коучингу, так і для розвитку наукових знань у цій галузі.

Хоча коучинг досяг значного поширення в практичній сфері, існують важливі аспекти щодо теоретичної основи та визначення понять, які все ще обговорюються. Тому у презентованому матеріалі спробуємо розглянути деякі з цих аспектів, такі як термінологія, історія, основи, цілі та результати. Основна мета цієї статті полягає в тому, щоб допомогти дослідникам, які цікавляться цією темою, побачити відправну точку, починаючи з розуміння основних аспектів коучингу, а згодом спонукаючи до роздумів про теоретичні конструкції та природу послуг, що надаються на основі коучингу.

На міжнародному рівні дослідження коучингу є відносно розвиненими, навіть існують журнали, присвячені виключно цій темі, такі як: *The Coaching Psychologist*, *International Coaching Psychology Review* та *International Journal of Evidence-Based Coaching and Mentoring*. Одна з перших гіпотез щодо виникнення коучингу полягає в тому, що він виник у місті Коч в Угорщині між XV та XVI століттями¹. Слово «коучинг» спочатку стосувалося транспорту, точніше, типу угорського критого екіпажу, а пізніше стало асоціюватися зі спортом. Тобто це є транспорт, який доставляє людей до місця або цілі або на думку професійного тенісиста Т. Голлвея, це форма підтримки розвитку спортсменів². Протягом багатьох років було помічено, що термін «коучинг» використовувався переважно у сферах спорту, освіти та роботи³. У. Айвз, аналізуючи історію концепцій цього феномену, зазначає, що на початку свого існування коучинг сприймався як вид керівництва, навчання чи інструктажу, а виникнення окремої академічної дисципліни постриало інтерпретації коучингу як форми фасилітації або суворо недирективного стилю управління людьми⁴. Останнім часом коучинг все частіше використовує терапевтичні та особистісно-розвинучі елементи⁵. Досить важливим фактором для розвитку послідовної теоретичної бази стала сама практика коучингу, яка наразі є набагато виразнішою, ніж теорії та дослідження щодо її науковості⁶.

Зростаюче впровадження ідей та методів створює плутанину щодо точної природи коучингу та його мети, що сприяє труднощам у його визначенні⁷.

Тому пропонуємо варіант систематизації загальних понять, які зустрічаються в психологічній літературі: (1) – *коучинг* безпосередньо пов'язаний з негайним покращенням продуктивності та розвитком

1 Cox, E., Bachkirova, T., & Clutterbuck, D. (2014). *The complete handbook of coaching*. London: Sage. URL: https://uk.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/95301_complete_handbook_of_coaching_Introduction.pdf.

2 Whitmore, J. (2010). *Coaching for performance*. Boston, MA: FourthEdition.

3 Grant, A. M. (2006). An interactive goal-focused approach to executive coaching. In D. Stober, & A. M. Grant (Eds.). *Evidence-based coaching handbook*. New Jersey, NJ: John Wiley & Sons. 153-192. URL: https://www.researchgate.net/publication/237105534_An_Integrative_Goal-Focused_Approach_to_Executive_Coaching.

4 Ives, Y. (2008). What is Coaching? An Exploration of Conflicting Paradigms. *International Journal of Evidence Based Coaching and Mentoring*. 6(2). 100-113. URL: https://www.researchgate.net/publication/253147470_What_is_'Coaching'__An_Exploration_of_Conflicting_Paradigms.

5 Нежинська О. О., Тименко В. М. (2017). *Основи коучингу : навчальний посібник*. Київ / Харків : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2017.

6 Rowan, J. (2014). The transpersonal approach to coaching. In E. Cox, T. Bachkirova, & D. Clutterbuck (Eds.). *The complete of handbook of coaching*. London: Sage. 145-156. URL: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/9fe3f1c66f127b486b2c50524ee8c05e.pdf>.

7 Stober, D. R., & Grant, A. M. (2006). *Evidence based coaching handbook: Putting best practices to work for your clients*. New Jersey, NJ: Wiley. URL: <https://perform.com.au/wp-content/uploads/2015/11/garvey-berger-developmental-coaching.pdf>.

навичок через форму репетиторства або інструктажу⁸; (2) – коучинг це розкриття потенціалу людини для максимізації її продуктивності, а також це допомога іншим у навчанні, а не навчання їх⁹; (3) – коучинг це спільний процес, метою якого є сприяння здатності клієнта самостійно керувати своїм навчанням та розвитком, що підтверджується значними змінами в саморозумінні, самосприйнятті та поведінці¹⁰; (4) – коучинг можна розуміти як загальну методологію, що використовується для покращення навичок та продуктивності, а також розвитку особистостей; це систематизований процес, у якому людям допомагають досліджувати свої проблеми, ставити цілі, розробляти плани дій та вживати заходів, контролювати та оцінювати свою ефективність, щоб краще досягати своїх цілей¹¹; (5) – суть коучингу полягає в тому, щоб допомогти людині вирішити свої проблеми та перетворити отримані знання на позитивні результати для себе та команди, яку вона очолює¹²; (6) – коучинг це процес розвитку людини, який передбачає використання структурованих та цілеспрямованих взаємодій, а також відповідних стратегій, інструментів і методів для сприяння бажаним та сталим змінам, спрямованим на благо людини та, потенційно, інших зацікавлених сторін¹³.

Щодо диференціації видів коучингу, то наразі класично виокремлюють такі: коучинг для керівників; персональний коучинг (лайф); коучинг на роботі; кар'єрний коучинг; бізнес-коучинг; коучинг лідерства; коучинг для команд¹⁴. Зрозуміло, така різноманітність видів коучингу, що може бути виправдано численними людськими та ринковими вимогами, а також гнучкістю коучингу, дозволяє застосовувати його принципи в різних контекстах, але й з другого боку саме така різноманітність сприяє

8 Parsloe, E. (1995). *Coaching, mentoring and assessing: A practical guide in developing competence*. London, Nichols Publishing. URL: https://archive.org/details/coachingmentorin0000pars_i5r0.

9 Whitmore, J. (2010). *Coaching for performance*. Boston, MA: FourthEdition.

10 Stober, D.R. & Parry, C. (2005). Current challenges and future directions in coaching research. In M. Cananagh, A. M. Grant, & T. Kemp (Eds.). *Evidence based in coaching*. Queensland: Australian Academic Press. Vol. 1. 13-36. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e55b88d218ef923acc3afcdfe7207d23d469e504>

11 Grant, A.M. (2005). *Workplace, executive and life coaching: An annotated bibliography from the behavioural science and business literature*. Australia: University of Sydney. URL: https://groups.psychology.org.au/Assets/Files/article_Annotated_biblio.pdf.

12 Napper R. Newton T. (2014). Transactional analysis and coaching. *The complete handbook of coaching*. London: Sage. 170-185. URL: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/9fe3f1c66f127b486b2c50524ee8c05e>.

13 Cox, E., Bachkirova, T., & Clutterbuck, D. (2014). *The complete handbook of coaching* London: Sage. URL: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/9fe3f1c66f127b486b2c50524ee8c05e.pdf>.

14 Silva L.C., Carvalho S.F., Werneck-Leite C.D., Anjos A., Brandao H.I. (2018). Unfolding Coaching: a Literature Review from the Perspective of Psychology. *Psicologia: Ciência e Profissão* V. 38 N°2. 363-377. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-3703000942017>.

поширенню сумнівів та питань щодо консенсусу між визначеннями та методологіями коучингу.

З огляду на таку різноманітність визначень коучингу, виникають питання про те, що є наскрізним для всіх цих конструктів, щоб зробити вивчення коучингу життєздатним. Звертаючись до напрацювань У. Айвза, виокремлюємо його пропозицію щодо вилучення сутності коучингу з аналізу спільного для різних точок зору, дійшовши висновку, що загалом коучинг пов'язаний з особистісним розвитком та ефективністю людей, окрім того, що його головним завданням є досягнення чітко встановлених цілей¹⁵.

Тому логічно його розгляд в контексті наставництва і навчання. Наставництво передбачає передачу знань від особи з досвідом у певній галузі до особи з меншим досвідом, але при цьому власне наставництво не вимагає від наставника коучингових навичок. Коучинг є процесом, у якому коуч (той, хто керує процесом) сприятиме навчанню підопічного (стажера). Таким чином, коуч не обов'язково повинен бути експертом у галузі навчання підопічного; йому просто потрібно мати досвід у процесі сприяння навчанню та покращення результатів. Щодо навчання, то це більш жорсткий та ззовні визначений процес, ніж коучинг; адже в останньому випадку учень сам організовує порядок денний і визначає, які цілі будуть досягнуті, на відміну від навчання, яке, загалом, організовується та виконується відповідно до потреб організації¹⁶.

Для нас вкрай важливим є розгляд галузі коучингу в межах психології, адже «психологія коучингу» аналізує психологічні механізми та надає розуміння того, як краще сприяти прийняттю певних моделей поведінки. Враховуючи, що процес коучингу по суті полягає в допомозі людям управляти своїми міжособистісними та внутрішньоособистісними ресурсами для досягнення своїх цілей, внесок психології буде полягати в тому, щоб розглянути механізми саморегуляції та те, як емоційні, когнітивні та поведінкові аспекти впливають на досягнення цілей. На прикладі організаційної та трудової психології, можна

15 Ives, Y. (2008). What is Coaching? An Exploration of Conflicting Paradigms. *International Journal of Evidence Based Coaching and Mentoring*. 6(2). 100-113. URL: https://www.researchgate.net/publication/253147470_What_is_'Coaching'_An_Exploration_of_Conflicting_Paradigms.

16 Grant, A. M. (2005). *Workplace, executive and life coaching: An annotated bibliography from the behavioural science and business literature* Australia: University of Sydney. URL: https://groups.psychology.org.au/Assets/Files/article_Annotated_biblio.pdf.

навести приклади, як коучинг сприяє навчанню лідерських якостей, покращенню продуктивності роботи, управлінню кар'єрою та процесам організаційних змін¹⁷.

У тому ж напрямку, що й психологія коучингу, заявляє про себе пропозиція вивчення коучингу за допомогою «коучингу на основі доказів», який має на меті підтримувати та, головним чином, закріплювати практику коучингу за допомогою використання теорій та академічних досліджень, як показано в журналі «Міжнародний журнал коучингу та наставництва на основі доказів». Щоб коучинг вважався практикою, що базується на доказах, він повинен мати три фундаментальні характеристики: 1) використання найкращих доступних знань; 2) досвід фахівця, пов'язаного з практикою; 3) врахування уподобань клієнта¹⁸. Що стосується використання найкращих доступних знань, то метою коучингу на основі доказів було б перенесення наявних наукових знань на практику. У цьому контексті в роботах багатьох авторів стверджується, що саме поведінкові науки можуть зробити значний внесок у розвиток науково обґрунтованих практик коучингу, особливо щодо теорій та моделей досягнення цілей та мотивації, а також, наприклад, взаємозв'язку між коучингом та самосвідомістю, саморегуляцією та самоефективністю¹⁹. Ще однією теоретичною основою, яка мала б велику цінність для розвитку коучингу на основі доказів, була б позитивна психологія, оскільки вона зосереджується на позитивних аспектах людини, а коучинг, у свою чергу, мав би на меті покращити людські навички та здібності²⁰.

17 Швець Є.В., Бойко Л.О. (2017). Коучинг та його роль в управлінні підприємством. Причорноморські економічні студії. Вип. 17. 142-145. URL: http://bses.in.ua/journals/2017/17_2017/29.pdf; Черненко, О. В. (2019). Застосування коучинг-методу в системі управління персоналом торгової організації для підвищення продуктивності праці. Вчені записки Університету «КРОК». 2 (54). 159–168. URL: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2019-53-159-168>; Лук'янова, Л., Бабушко, С., Баніт, О. (2018). Коучинг як інноваційна технологія особистісного і професійного розвитку персоналу. *Ročenka Ukrajinska-Slovenská*. 2018. Slovakia: Európsky inštitút ďalšieho vzdelávania. 154-167. URL: <https://www.eeda.sk/dok/publikacie/ostatne/2018-rocenka-ukrajinsko-slovenska.pdf>.

18 Stober, D. R., Wildflower, L., & Drake, D. (2006). Evidence-based practice: A potential approach for effective coaching. *International Journal of Evidence Based Coaching and Mentoring*. 4(1). 1-8. URL: https://www.researchgate.net/publication/252717223_Evidence-Based_Practice_A_Potential_Approach_for_Effective_Coaching.

19 Varina H., Kovalova O., Huz N. (2023). Coaching as an innovate technology of human resource managment. *Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права*. Вип. 2. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.51547/ppp.dp.ua/2023.2.10>; Никоненко, О., & Данкович, Н. (2024). Вплив кар'єрного коучингу на розвиток мотивації успіху працівників. Вчені записки Університету «КРОК». 3(75). 259–268. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2024-75-259-268>; Synhaivska, I., Kutas, M. (2018). The applications of interactive methods for the development of competencies in management psychology. *Innovations in science: The challenges of our time* (collective monograph). Ontario, Canada: Accent Graphics Communications & Publishing. 84–92; URL: https://www.researchgate.net/profile/Yaroslav-Tsekhmister/publication/329558367_Innovations_in_Science_The_Challenges_of_Our_Time/links/5c0f9aa7299bf139c7504438/Innovations-in-Science-The-Challenges-of-Our-Time.pdf.

20 Кот Г. М., Діденко М. С. (2024). Коучинг як засіб формування мотивації до навчання упродовж життя. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. № 97. 23-27. DOI: <https://doi.org/10.32782/1992-5786.2024.97.4>.

Практика коучингу значно розширилася за останні кілька років, що можна пояснити: (1) – змінами на ринку праці, які спонукають людей прагнути до кращих результатів, та (2) – популярністю, яку коучинг здобув завдяки позитивним результатам, отриманим завдяки його методу особистісного чи організаційного розвитку. Щодо змін, що відбулися в контекстах, в яких індивіди прагнуть розвиватися, в організаційній сфері технологічний прогрес призвів до високої конкуренції між компаніями, що підвищує попит на якість та виробничі потужності організації, а отже, й працівників. Крім того, фахівці на сучасному ринку праці, як правило, мають більшу автономію щодо власної кар'єри. Отже, можливо, що процес коучингу розглядається як інструмент, здатний допомогти людям впоратися з цим новим робочим контекстом.

Щоб оцінити, наскільки галузь знань чи сфера діяльності розвивається з часом, важливо проаналізувати її наукову продукцію. Щодо коучингу, то існує очевидний розрив між теорією та практикою, проте в останні роки спостерігається збільшення дослідницьких ініціатив на міжнародному рівні, але більше половини цих досліджень є описовими, заснованими на думках або теоретичних дискусіях, що розкриває початковий етап коучингу як академічної дисципліни. Емпіричні дослідження, у свою чергу, зазвичай представляють дослідницький дизайн у форматі опитування та мають на меті аналізувати такі аспекти, як характеристики коучів та осіб, які проходять коучинг, або те, як коучинг використовується в різних контекстах (школи, організації тощо). Тобто можемо констатувати, що існує нестача досліджень, які аналізують результати коучингу, ефективність процесу та методів, а також довгостроковий вплив коучингу. Отже, сьогодні можемо висувати, що у цій розповсюдженій галузі є відсутніми пояснювальні моделі, а також дослідження, що використовують експериментальний метод. Загалом відсутність досліджень викликає занепокоєння в кількох аспектах: диференціація коучингу від інших практик, розмежування між кваліфікованими та некваліфікованими фахівцями, торгівля методами без наукового підтвердження та поширення практичних знань до їх теоретизації та дослідження. У цьому сенсі вважається важливим докласти зусиль для досягнення консенсусу щодо того, що являє собою коучинг, його процесу, методів, заходів та прийнятих стандартів виконання вправ.

На основі проведеного нами огляду галузі коучингу, маємо усі підстави для ствердження, що коучинг є інноваційною практикою у світовій практиці вивчення і супроводу мотиваційного розвитку людей різних вікових, статевих і соціальних шаблів. А це несе з собою виклики, властиві галузі, яка вважається такою, що розвивається. Щоб зростати і набувати наукової респектабельності, коучингу необхідно займати більше місця в академічній продукції з метою створення та поширення знань, підтверджених суворістю наукових теорій. Нами не заперечується положення, що практика передує теорії, але логічним є ствердження, що теорія підтримує практику. Тобто у будь-якому випадку, теорія та практика необхідні для зростання та розвитку коучингу як потужної та незалежної галузі, а коли активний цикл досліджень, теорії та практики розпочнеться, тоді кожна частина циклу та галузь загалом отримають вигоду²¹. На сучасному рівні розвитку галузі коучингу в Україні спостерігаємо прогресивні досягнення щодо подолання розриву у діалозі між світом академічних досліджень та практикою, що проводиться інститутами коучингу²².

Як додаток до сказаного, варто наголосити, що перехресні дослідження були б корисними як відправна точка для вирішення теоретичних проблем, але згодом поздовжні дослідження могли б оформлюватися у довгострокові наслідки коучингу. Також порівняння різних видів коучингу, поєднання методів та розробка інструментів для підтвердження ефективності коучингу в різних сферах застосування та підходах мали б великий внесок. Щодо сфер поширення наукової продукції, участь психології у виробництві досліджень все ще є скромною, і, згідно з даними міжнародної літератури, цей сценарій потребує змін, що підтверджує необхідність більших зусиль для дослідження аспектів коучингу з точки зору психології.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-215-221

21 Stober D.R., Wildflower L., Drake D. (2006). Evidence-based practice: A potential approach for effective coaching. *International Journal of Evidence Based Coaching and Mentoring*. 4(1). 1-8..

22 Міжнародна коучингова федерація. URL: <https://www.icf-ukraine.org/icf-global>

Technical sciences

**Oleg PERGAT,**

Postgraduate Student

National University of Food Technologies

ORCID ID: 0000-0003-3616-1327

Igor STRASHYNSKYI,

Ph.D., Associate Professor,

National University of Food Technologies

ORCID ID: 0009-0006-6834-6990

Kyiv, Ukraine

PROPERTIES OF MODEL MIXED MEAT AND MEAT-CONTAINING SEMI-FINISHED PRODUCTS DEPENDING ON THE AMOUNT OF STRUCTURING AGENT

Statement of the problem. According to demographers, by 2050 the world's population will reach 9.7 billion, which requires solving problems related to food availability and food security. In the coming decades, the production of protein food must be significantly increased in order to provide it in sufficient quantities to keep up with population growth. However, animal products, especially meat, have a significant impact on the environment in terms of water and land use, greenhouse gas emissions, and energy consumption. Meat production requires a significant amount of vegetable protein. On average, 6 kg of vegetable protein are required for 1 kg of meat protein. The required amount of feed varies between 3,3, 6,4 and 25 kg for poultry, pork or beef, respectively¹. Most people consume meat because it is perceived as tasty, healthy and nutritious and is deeply rooted in many cultures.

Analysis of recent research and publications. There are many varieties of plant-based diets for complete or limited consumption of animal protein foods: pescetarianism (abstaining from meat but consuming fish), vegetarianism (abstaining from meat and fish, but consuming animal products such as milk and eggs), lacto-vegetarianism (avoiding all animal products except milk),

¹ Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Finnigan, J. & Rounsevell, M. D. A. (2016). Human appropriation of land for food: The role of diet. *Global Environmental Change*, 41, 88–98, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.09.005>.

ovo-vegetarianism (avoiding all animal products except eggs), and veganism (complete rejection of products of animal origin). Flexitarianism is a more flexible and varied system of nutrition that does not have strict rules, but the basic idea is that the diet consists mainly of plant foods, but occasionally contains meat and fish.

Modern technologies for the production of meat products provide for the replacement of animal proteins with the use of processed products of plant origin. Thus, the actual meat content in finished products is reduced, which leads to a decrease in meat consumption. The share of meat-containing products in the assortment of meat-processing enterprises is dynamically increasing. A meat-containing product is a food product whose composition contains less than 60 % but not less than 15 % deveined meat or is made from offal and (or) blood.

Recently, another group of products has appeared – meat analogues². These are products that can replace meat in terms of their functionality, being similar in terms of product properties and sensory characteristics.

The technologies for manufacturing meat-containing products and plant-based meat analogues require an understanding of the functional and technological properties of not only the protein source, but also the fibers and other bioactive ingredients. Although the synergistic effect caused by the combination of different ingredients makes it difficult to accurately predict behavior, it is important to pay attention to some properties characteristic of specific components. In the case of proteins, preference is given to high emulsifying ability, water solubility and amino acid composition³. The decisive factors in the selection of dietary fibers are gel-forming ability and viscosity, as well as moisture-retaining and emulsifying ability.

The choice of protein source plays an important role in shaping texture, color, flavor, and affects weight loss during cooking. The preference for plant-based protein sources (soy, wheat, peas, and potatoes) is largely due to their amino acid composition.

Soy protein has been one of the main sources of plant-based protein for meat alternatives and its history dates back to ancient China. Soy derivatives, such as soy flour, soy protein concentrate and soy protein isolates, are recognized as

2 Kołodziejczak, K., Onopiuk, A., Szpicer, A. & Poltorak, A. (2022). Meat Analogues in the Perspective of Recent Scientific Research: A Review. *Foods*, 11(1), 105, <https://doi.org/10.3390/foods11010105>.

3 Kyriakopoulou, K., Keppler, J. K. & van der Goot, A. J. (2021). Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. *Foods*, 10(3), 600, <https://doi.org/10.3390/foods10030600>.

a cheaper alternative with high nutritional value and technological properties and are used in the technology of meat and meat-containing products⁴.

Meat does not contain carbohydrates, but the technology of meat products involves their use, especially in emulsified and formed processed meat products. Meat analogues and meat-containing products, on the other hand, almost always contain carbohydrates. Carbohydrates contained in meat products can come from different ingredients and perform various functions. Carbohydrate ingredients can be classified as starch or flour, which are used to improve the texture and consistency of the product, or binding ingredients or gums, such as methylcellulose, acacia gum, xanthan gum, carrageenan, and many others, which are used to improve the stability and shape of the product. From a functional perspective, these ingredients are designed to improve the interaction between the protein and lipid components and the moisture of the food system. These ingredients help to catalyze these components and form a stable structure. From a nutritional perspective, carbohydrates can be viewed as health-promoting in the form of more dietary fiber or harmful to health in the form of more refined starches or sugars. Typically, a combination of dietary fiber, starch, and sugars is included in the formulation of both meat analogues and processed meat products⁵.

From a technological point of view, dietary fibers can affect the functional properties of food products related to texture, due to the ability to retain moisture and fat, the ability to gel and swell, emulsion stability, increased viscosity. The viscosity of dietary fibers is due to the physical interaction between fiber particles, closely related to the fiber microstructure⁶.

Setting the task. The aim of the work is to compare the effect of a mixture of dietary fibers on the active acidity and structural and mechanical properties of minced meat and meat-containing semi-finished products of model protein

- 4 Singh, P. & Krishnaswamy, K. (2022). Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization. *Trends Food Sci. Technol.*, 128, 331–344, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.015>; Strashynskiy, I., Marynin, A., Perhat, O. ta Baida, Ya. (2023). Teksturovani roslynni bilky yak alternatyva miasu. *Materialy 89 Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv "Naukovi zdobutky molodi – vyryshenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti"*, 3–7 kvitnia 2023 r., (ch. 1, s. 289). Kyiv: NUKHT; Krintiras, G. A., Göbel, J., van der Goot, A. J. & Stefanidis, G. D. (2015), , p. 289. Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. *Journal of Food Engineering*, 160, 34–41, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.015>.
- 5 Hrechko, V. V., Strashynskiy, I. M. ta Pasichnyi, V. M. (2019). Kharchovi volokna yak funktsionalnyi inhrediiient u miasnykh napivfabrykatak. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 2(16), 154–164, [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2\(16\)-154-164](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2(16)-154-164); Fernandes, A., Mateus, N. & de Freitas, V. (2023). Polyphenol-Dietary Fiber Conjugates from Fruits and Vegetables: Nature and Biological Fate in a Food and Nutrition Perspective. *Foods*, 12(5), 1052, <https://doi.org/10.3390/foods12051052>.
- 6 Marvizada, M. M. & Akbari, N. (2019). Development and Utilization of Rice Bran in Hamburger as a Fat Replacer. *Journal of Chemical Health Risks*, 9(3), 245–251, <https://doi.org/10.22034/jchr.2019.668190>.

systems based on beef, soy protein texturate and soy protein isolate. In accordance with the aim of the research, the following tasks were set:

- conduct a patent information search on the topic of the work;
- develop formulations of model systems with raw materials of animal and plant origin, as prototypes of chopped meat and meat-containing semi-finished products;
- to investigate the effect of a mixture of dietary fibers in amounts of 1,5 %, 3 % and 4,5 % on model systems based on beef, soy protein texturate and soy protein isolate;
- determine active acidity and texture of the studied model systems before and after heat treatment.

The object of research is a technology of chopped meat and meat-containing semi-finished products.

The subject of research is a mixture of food fibers, meat raw materials, soy protein texturate and soy protein isolate, pre-prepared model protein systems of chopped meat and meat-containing semi-finished products.

The work investigated the effect of a mixture of dietary fibers (VIVAPUR® MG 100 JRS, Germany) on protein systems of animal and plant origin.

In the conducted studies, active acidity was compared by determining pH using a certified pH meter (pH 50 VIO lab, measurement accuracy ± 0.02 , manufacturer – XS Instruments, Italy).

The texture profile of the samples was examined by hardness characteristics on a Shimadzu EZ-LX texturometer (Japan).

The obtained data are presented as mean $\pm$ standard deviations after triplicate determination. Statistical analysis was performed using Microsoft Excel 2007. Differences in the obtained results were considered valid at a significance coefficient of $\alpha = 0,95$ ⁷.

Presentation of the main material. Research was conducted in the production laboratory of LLC "FOODTEK" and the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies.

As a source of animal protein, beef of the 2nd grade (pH value $5,59 \pm 0,02$) was used for the research. Soy protein texturate (SOYTEX 5006PC, China) and soy isolate (ISOPRO 510A, China) were used as vegetable proteins. The formulations

⁷ Strashynskiy, I. M. ta Hrytsai, M. S. (2024). Rozrobka kompleksu nefosfatnykh volohoutrymliuchykh dobavok na osnovi aktyvnykh stabilizatoriv miasnykh system. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu*, 37, 71–79, <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2024-37-12>.

of the studied model systems are given in Table 1. At the first stage, emulsions were prepared based on beef fat and a mixture of dietary fibers of 1,5 %, 3 % and 4,5 %, respectively. Hydration of the mixture of dietary fibers was carried out with food ice and water in a ratio of 1:4 to a homogeneous mass, the temperature at the end of the cutting was $18 \pm 2^\circ\text{C}$. The ratio of components according to the recipes 1 M, 2 M, 3 M – with meat beef grade 2, control samples, experimental samples 1 T, 2 T, 3 T – with soy protein texturate and 1 Is, 2 Is, 3 Is – with soy protein isolate.

Table 1

Formulations of the studied model systems

Raw material Sample No	Grade 2 beef	Soy protein texturate	Soy protein isolate	Dietary fiber blend	Beef fat	Moisture for hydration
	Content, %					
1 M	66	–	–	1,5	15	17,5
2 M	59,5	–	–	3	15	22,5
3 M	53,2	–	–	4,5	15	27,3
1 T	–	25,8	–	1,5	15	57,5
2 T	–	23,3	–	3	15	58,7
3 T	–	20,8	–	4,5	15	59,7
1 Is	–	–	19,3	1,5	15	64,2
2 Is	–	–	17,5	3	15	64,5
3 Is	–	–	15,6	4,5	15	64,9

At the second stage, preliminary preparation of soy proteins was carried out according to the technological instructions for their use. For texturate, it was carried out by hydration (soaking in water, ratio 1:2 at a temperature of $6 \pm 2^\circ\text{C}$ for 2 hours) and subsequent grinding into 2-3 mm flakes. Soy protein isolate was used after hydration (ratio 1:3), prolonged cutting to form soy granules (achieving a gel temperature of $36 \pm 2^\circ\text{C}$), after which it was cooled for 12 hours at a temperature of $4 \pm 2^\circ\text{C}$).

Beef was ground into a powder with a diameter of 2-3 mm, a phosphate-free complex of active stabilizers (1,4 % by weight of meat) and 15 % moisture by weight of raw materials were added⁸.

8 Chauhan, S. S., LeMaster, M. N., Clark, D. L., Foster, M. K., Miller, C. E. & England, E. M. (2019). Glycolysis and pH Decline Terminate Prematurely in Oxidative Muscles despite the Presence of Excess Glycogen. *Meat and Muscle Biology*, 3(1), p. 74, <https://doi.org/10.22175/mmb2019.02.0006>.

At the third stage, experimental model systems were prepared according to the recipes by mixing on a mixer until the components were evenly distributed. 1,2 % of table salt was added to all samples. Salt increases the solubility of proteins, and added moisture is a solvent for salt and proteins, forming the textural properties of minced meat and finished products. The prepared minced meat was left for exposure for 20–30 min.

The work investigated the effect of heat treatment on experimental samples of model minced meat in a cooled state with a temperature in the middle of the product not higher than 8°C. The temperature of culinary readiness in the middle of the product of the products for meat and meat-containing chopped semi-finished products was 90°C.

The values of active acidity are given in Table 2. A significant difference in pH was observed between the samples from meat raw materials and samples with plant proteins studied. The lower pH value in samples with dietary fibers in the amount of 1,5 %, 3 % and 4,5 % compared to the pH of the raw materials was probably associated with glycolytic changes in the meat raw materials⁹.

Table 2

pH values of samples of model systems

Sample No	Dietary fiber mixture content, %	pH before heat treatment	pH after heat treatment
1 M	1,5	5,54	5,71
2 M	3	5,35	5,63
3 M	4,5	5,52	5,51
1 T	1,5	6,34	6,43
2 T	3	6,51	6,60
3 T	4,5	6,35	6,77
1 I ₃	1,5	6,28	6,35
2 I ₃	3	6,61	6,68
3 I ₃	4,5	6,88	7,08

According to the current study, samples using soy protein texturate and soy protein isolate showed a pH of more than 6. The higher pH in these samples

⁹ Anjum, F. M., Naeem, A., Khan, M. I., Nadeem, M. & Amir, R. M. (2011). Development of texturized vegetable protein using indigenous sources. *Pakistan Journal of Food Science*, 21(1), 33–44.

may be due to the alkalinity of the protein preparations containing vegetable protein (pH 7,42–7,43) compared to the controls, which are made from beef.

Similar research results were obtained by scientists in¹⁰, who also noted that the addition of soy protein isolate at a level of 25 % significantly increases the pH in meat sausages, which is similar to the results of this study.

Figure 1 shows the measurement of the hardness of a beef sample on a Shimadzu EZLX texturometer. According to Ayadi et al.¹¹, hardness is an instrumental parameter for assessing the texture of meat products.



Fig. 1. Shimadzu EZ-LX texturometer (Japan).

Textural properties are crucial for meat-containing products, since texture is an important factor in simulating organoleptic characteristics, including taste properties of finished products. The hardness values before heat treatment of meat and meat-containing systems with a content of 1.5 %, 3 % and 4.5 % of the dietary fiber mixture in the samples are presented in Figure 2.

10 Ahmad, S., Rizawi, J. A. & Srivastava, P. K. (2010). Effect of soy protein isolate incorporation on quality characteristics and shelf-life of buffalo meat emulsion sausage. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 290–294, <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0045-x>; Sukhenko, Yu. H., Zheplinska, M. M., Pasichnyi, V. M. ta Tymoshenko, I. V. (2019). Optymizatsiia vyrobnychkh protsesiv: [Navchalnyi posibnyk]. Kyiv: Firma «INKOS», p. 292.

11 Ayadi, M. A., Kechaou, A., Makni, I. & Attia, H. (2009). Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 278–283, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.033>.

The hardness of samples using meat raw materials was significantly higher compared to samples with soy protein texturate and soy protein isolate.

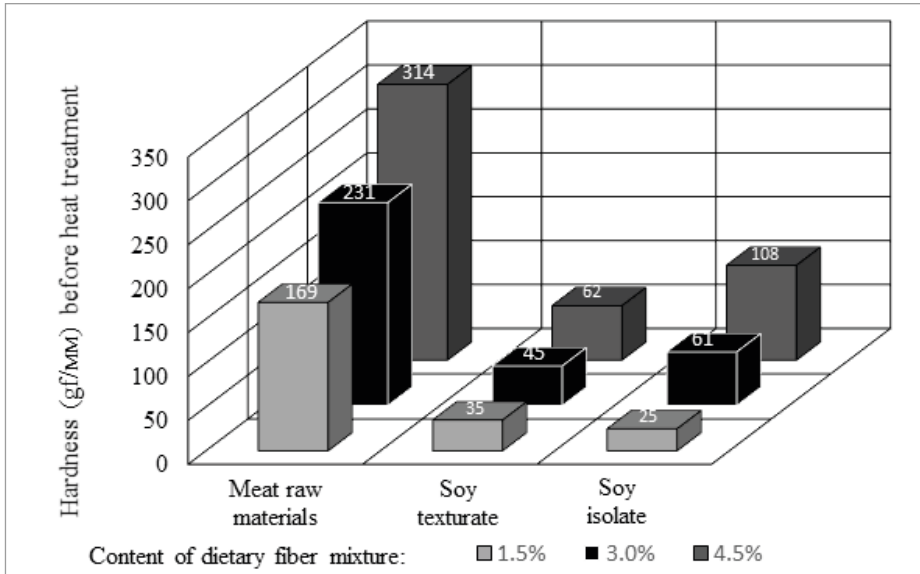


Fig. 2. Hardness (gf/mm) before heat treatment.

Figure 3 shows the hardness values of meat and meat-containing systems with different contents in the samples of the dietary fiber mixture after thermal processing.

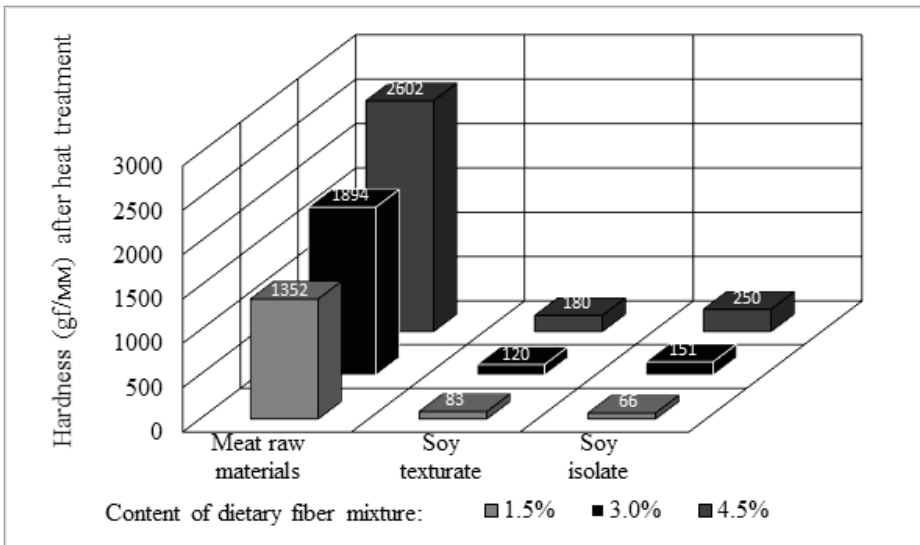


Fig. 3. Hardness (gf/mm) after heat treatment

The increase in hardness values in samples with beef grade 2 after heat treatment was expected due to denaturation of muscle proteins, which led to an increase in hardness in the meat system.

Increasing the content of the dietary fiber mixture in the formulations from 1,5 % to 4,5 % increases the hardness of all experimental model systems and shows that with an increase in the amount of binding agent, hardness values increased proportionally. Similarly, increasing the amount of carrageenan in the formulations from 0,5 % to 1,5 % increases the hardness of sausage products [15, p. 281]. The reason for the lower hardness values of the experimental samples with soy protein texturate SOYTEX 5006PC and soy protein isolate ISOPRO 510A was their high hydration, which leads to the fact that meat-containing systems become softer.

Conclusion. The use of 1,5 %, 3 % and 4,5 % of a mixture of dietary fibers in model systems of meat and meat-containing semi-finished products with beef of the 2nd grade for control and experimental samples of soy protein texturate SOYTEX 5006PC and soy protein isolate ISOPRO 510A shows that with an increase in the amount of dietary fibers, hardness values increase. In samples with texturate and soy protein isolate, the pH values is more than 6, which is due to the alkalinity of protein preparations pH 7,42–7,43. The results obtained, and the relevance of the identified scientific direction justify the need for further research to develop a structuring composition based on dietary fibers for meat-containing products.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-222-230

САФАРОВ Елман Гасанбей огли,

канд. техн. наук,

доцент кафедри автомобільного транспорту

та сучасної інженерії,

Відкритий міжнародний університет розвитку людини

«Україна»

ORCID ID: 0000-0002-4584-5539

ПОВЕДІНКА МАТЕРІАЛІВ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

З метою вивчення закономірностей зміни опору конструкційних матеріалів деформуванню та руйнуванню в діапазонах швидкості деформації $10^4 \dots 10^5 \text{ с}^{-1}$ розроблено методи механічних випробувань матеріалів при різних видах високошвидкісного навантаження та створено спеціальне обладнання¹. Швидкості навантаження до 20 м/с реалізуються при випробуваннях на вертикальних копрах вільно падаючим вантажем, швидкості до 500 м/с і вище – на пневмопороховому копре. Нижче описано методики досліджень, обладнання, а також наведено деякі результати експериментів.

Пневмопорохові копри дозволяють проводити випробування матеріалів при швидкостях зіткнення до 1000 м/с, що викликає виникнення в зразках ударних хвиль навантаження².

Випробування проводяться в режимі постійної швидкості деформації ($\dot{\epsilon} = \text{const}$) з лінійним її наростанням в початковий період навантаження: при високошвидкісному деформуванні на пневмопорохових копрах енергія ковадла набагато перевищує роботу руйнування зразка і тому процес деформування зразка повністю контролюється рухом ковадла і не переривається відскоками бойка. Схема копра для динамічних випробувань на розтяг, пробій, зріз та ін. наведена на рис. 1.

Зразок 15, з'єднаний з динамометром 12, знаходиться в жорсткій трубі 9, встановленій в стволі 11. Один кінець труби закріплений в розподільнику повітря 2, а на іншому зафіксовано ковадло 16, за допомогою якого труба

1 Стрижало В. О., Бородій М.В. Експериментальні методи в механіці деформівного твердого тіла. Навчальний посібник. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2022. 306 с.

2 Степанов Г.В. Пружнопластичне деформування матеріалів під впливом імпульсних навантажень. Київ : Наук. думка, 1979. 268 с.

центрується щодо осі каналу ствола. Навантажуючий бойок-снаряд 13 розганяється по каналу ствола стисненням газом і при польоті не стикається з трубою 9, призначеної для захисту розміщених на динамометрі датчиків з кабелями від впливу газів, що розганяють. Вузол навантаження зі зразком розміщені у вакуумній камері копра, яка складається з двох частин. Стационарна частина камери 10, має кабельні вводи для з'єднання укріплених на динамометрі 12 датчиків з реєструючою апаратурою, укріплена нерухомо на станині 1. Рухлива частина камери 18 може відкочуватися по станині, відкриваючи вільний доступ до вузла кріплення зразка. За допомогою перехідного фланця зі стоволом з'єднана камера стисненого повітря 8. Повітря в камеру надходить від балона 5 через вентиль 4 і після досягнення в ній необхідного тиску руйнує діафрагму 3 і розганяє бойок, який при вильоті зі ствола вдаряє по ковадлу і руйнує зразок.

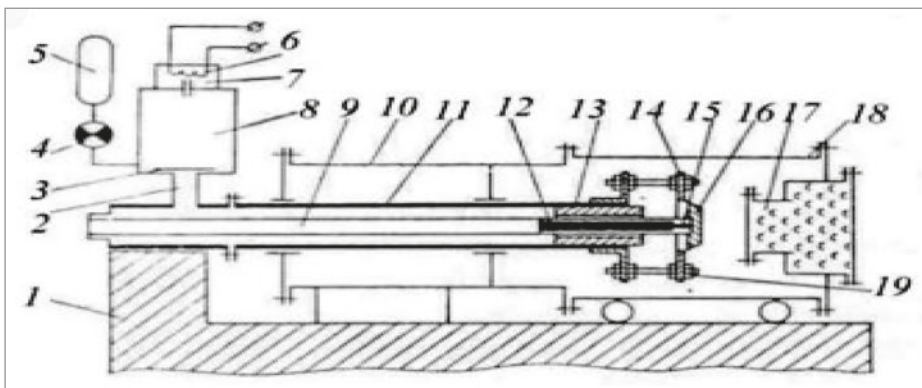


Рис. 1. Схема пневмопорохового копра

Швидкість польоту бойка перед зіткненням визначається за допомогою двох електричних контактів, один з яких вводиться в ствол на певній відстані від його кінця, а другий встановлюється поблизу поверхні зіткнення. При русі бойок замикає по черзі обидва контакти, сигнали від яких надходять на пуск та зупинку частотоміра.

Перед випробуваннями в камері створюється розрідження. Розгін бойка стисненим повітрям дозволяє проводити дослідження при швидкостях від 50 м/с до 300 м/с. Для отримання більш високих швидкостей тиск підвищують, спалюючи в камері 7 порох, який займається за допомогою електроспіралі 6. Після руйнування зразка його уламки разом з ковадлом і бойком потрапляють у уловлювач 17. У

зв'язку з істотним впливом на результати випробувань неплосчинності удару при підготовці випробувань особлива увага повинна приділятися дотриманню паралельності поверхонь пластин, що зіштовхуються.

У копрах для імпульсного навантаження плоскою хвилею можна отримувати швидкості зіткнення пластин від 10 до 1000 м/с.

Вище розглянуті системи силованаантаження забезпечують збудження в об'єктах дослідження таких швидкісних та імпульсних (ударних) навантажень, які дозволяють формувати необхідні режими випробувань ($\sigma = \text{const}$ і $\varepsilon = \text{const}$), досліджувати напружено-деформований стан і визначати характеристики міцності та пластичності.

Пробій.

З метою визначення опору конструкційних матеріалів пробиванню при високих швидкостях розроблено методику (рис. 2) безперервної реєстрації зусилля в пружно деформується бойку при його взаємодії з перешкодою³. Випробування проводилися на пневмопороховому копрі.

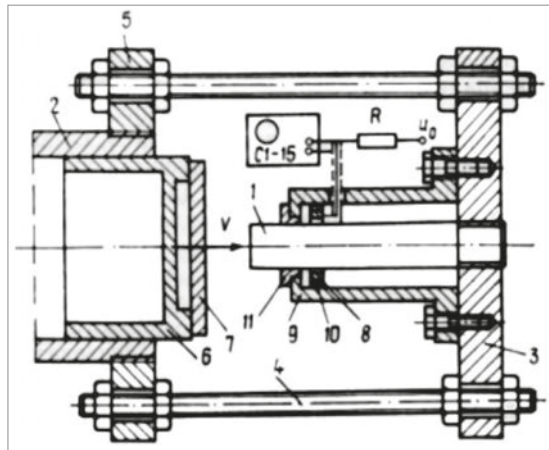


Рис. 2. Схема динамічних випробувань на пробій

Сталевий стрижневий боек діаметром 10 мм 1 з плоским торцем закріплювали поблизу дульного зрізу ствола 2 у тримачі 3, з'єднаному шпильками 4 з фланцем 5 на кінці ствола балістичної установки. Складку

3 Вщенко А.П., Степанов Г.В., Сафаров Е.Г. Динамічний опір конструкційних матеріалів зрізу / *Проблеми міцності*. 1987. № 2. С. 45-47; Вщенко А.П., Степанов Г.В. Методика вимірювання деформацій у стрижнях ємнісним тензодатчиком / *Проблеми міцності*. 1975. № 12. С. 104-105; Степанов Г.В., Сафаров Е.Г. Перфорація тонкої пластини ударом стрижня з плоским торцем / *Проблеми міцності*. 1988. № 6. С. 62-66; Степанов Г.В., Сафаров Е.Г. Імпульс сил при пробитті тонких пластин / *Проблеми міцності*. 1988. № 10. С. 95-98.

6 з легкого сплаву діаметром 64 мм із закріпленою на ньому пластиною 7 (зразок) з досліджуваного матеріалу розганяли по каналу ствола установки до заданої швидкості і завдавали удару по бойку. Зусилля пробивання розраховували за деформацією бойка, що реєструється за допомогою ємнісного тензодатчика при розповсюдженні пружної хвилі навантаження від його впровадженної частини.

Ємність датчика утворена бічною поверхнею бойка і латунним кільцем 8 з внутрішнім діаметром 12,5 мм і шириною 5 мм, закріпленим у втулці 9 за допомогою ізолюючого кільця 10. За допомогою шаблону бойок встановлювали по осі каналу ствола копра, що забезпечувало паралельність і співвісність поверхонь зразка і бойка. Типові осцилограми взаємодії стрижня з пластиною та форми вибитих пробок наведено на рис. 3 та рис. 4.

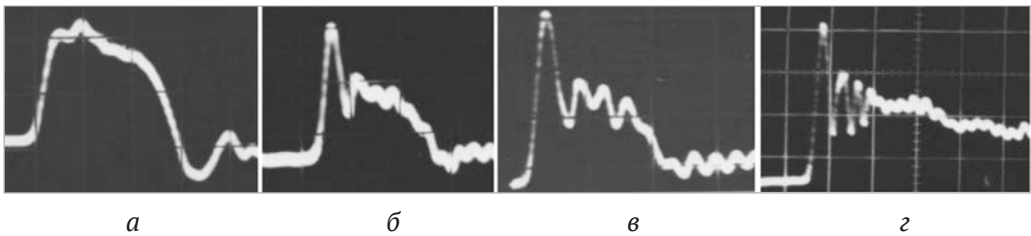


Рис. 3. Типові осцилограми взаємодії стрижня з конічною ($2a=1700$) (а, б, в) та плоскою головною частиною з пластиною товщиною 6 мм при швидкості удару 112 м/с (а), 141 м/с (б), 170 м/с (в), 84 м/с (г)

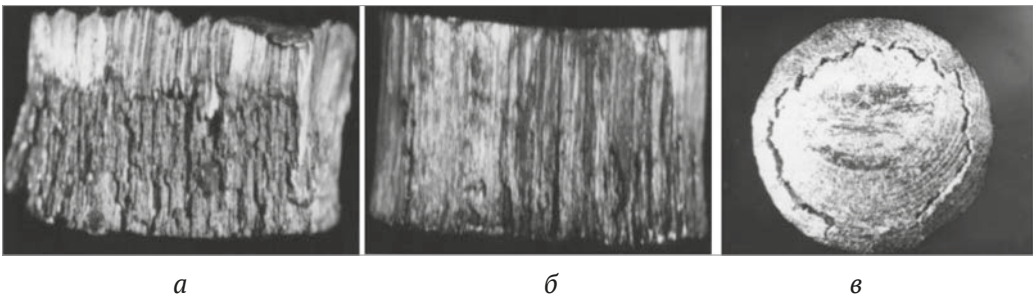


Рис. 4. Бічні (а, б) та тильна (в) поверхні пробок, вибитих з дюралюмінієвої пластины товщиною 4,9 мм: а- $v_0 = 145$ м/с, б- $v_0 = 167$ м/с, в- $v_0 = 80$ м/с

На рис. 5 наведено залежність опору деяких металів пробиванню від швидкості взаємодії.

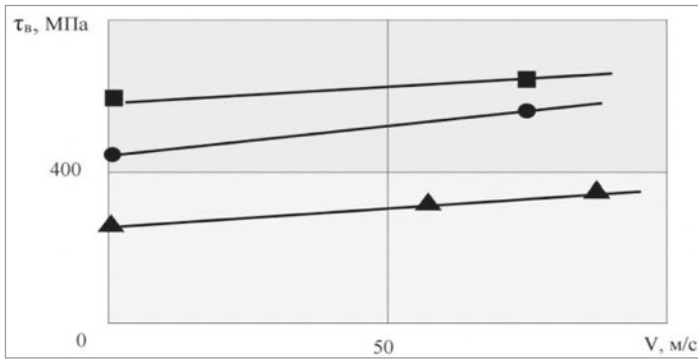


Рис.5. Залежність опору металів пробиванню від швидкості взаємодії

Зріз.

Для визначення характеристик міцності матеріалів при динамічному зрізі по реєстрованому зусиллю взаємодії пластини зі стрижнем з плоским торцем необхідно виключити попередньої деформації за рахунок хвильових процесів описаних в роботах⁴. З цією метою розроблено методику, яка описана в роботі⁵ (рис. 6).

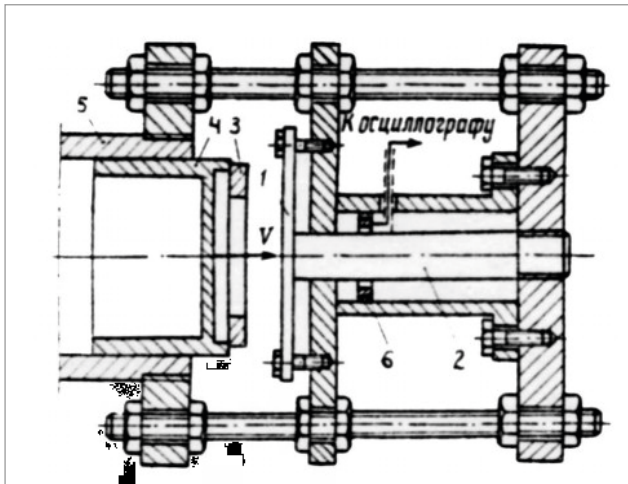


Рис.6. Схема експерименту

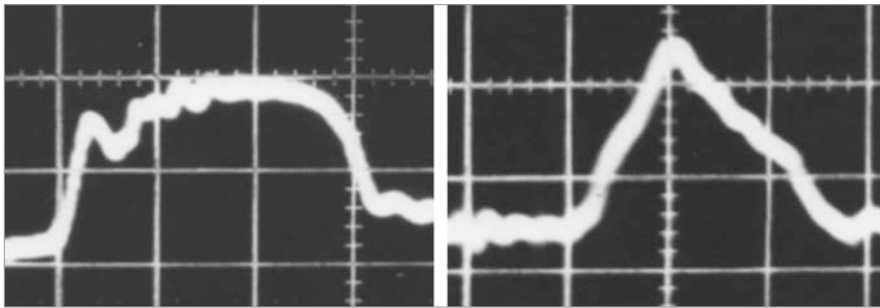
Випробувана пластина 1 кріпиться до бойка 2 без зазору, що виключає їх зіткнення. Навантаження проводиться осесиметричним ударом кільця 3, закріпленого на склянці 4, який розганяється по каналу ствола

4 Степанов Г.В., Сафаров Е.Г. Перфорация тонкой пластины ударом стрижня с плоским торцем / Проблемы прочности. 1988. № 6. С. 62-66; Степанов Г.В., Сафаров Е.Г. Импульс сил при пробитии тонких пластин / Проблемы прочности. 1988. №10. С. 95-98.

5. Сафаров Е.Г. Опір металів динамічному зрізу / Проблемы прочности. 1988. № 8. С. 121-123.

5 до заданої швидкості. Товщини та акустичні жорсткості кільця та пластини однакові, що призводить до практично повної передачі енергії (імпульсу) кільця пластині при першому зіткненні, виключаючи вторинний удар по пластині.

Рухаюча пластина впливає на бойок, в результаті чого відбувається її зріз з вибиванням пробки, діаметр якої приблизно дорівнює діаметру бойка. За допомогою ємнісного датчика б реєструється осцилограма “зусилля – час” (рис. 7).



а

б

Рис. 7. Типові осцилограми процесу зрізу зразків із сталі Ст.3:
а – $v = 64$ м/с, б – $v = 243$ м/с

На рис. 8 показана зміна напруження зрізу $\tau_{\text{в}}$ від швидкості взаємодії.

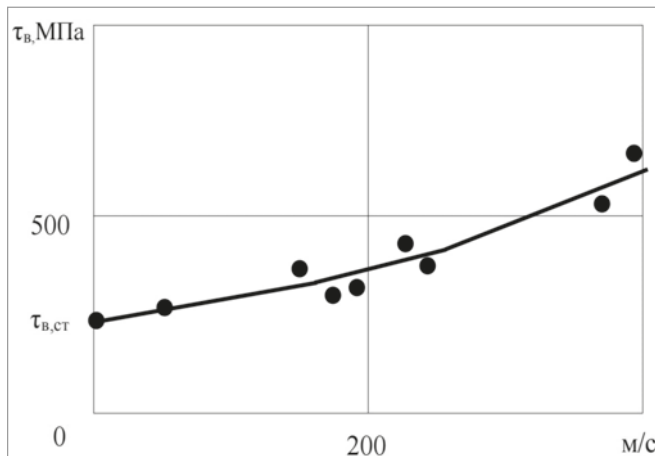


Рис. 8. Залежність опору зрізу сталі Ст.3 від швидкості удару

Залежність коефіцієнта динамічності K_d (відношення динамічного напруження зрізу $\tau_{\text{в}}$ до статичного $\tau_{\text{в,ст}}$) від швидкості зіткнення наведено на рис. 9.

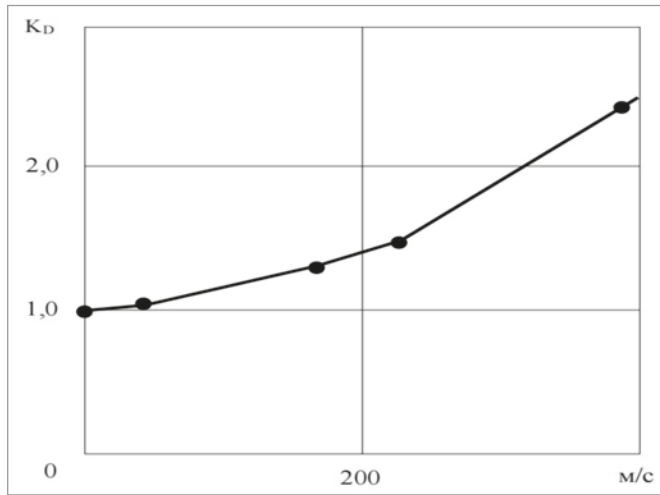


Рис. 9. Залежність коефіцієнта динамічності K_d сталі Ст.3 від швидкості удару

Отримані дані показують значний вплив швидкості деформування на характеристики міцності випробуваних матеріалів, що необхідно враховувати в конструкторських розрахунках.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-231-237



ЛОГВІНОВА Віта Володимирівна,
канд. ветеринар. наук, доцент,
Дніпровський державний
аграрно-економічний університет
ORCID ID: 0000-0002-2084-6850

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ГІСТОАРХІТЕКТОНІКИ ЛІМФОЇДНИХ УТВОРЕНЬ ТОНКОГО КИШЕЧНИКА МУСКУСНИХ КАЧОК

ВСТУП. В наш час найбільш гостро ставиться питання щодо детальних досліджень особливостей будови і функції імунної системи, зокрема, лімфоїдних структур, асоційованих із слизовими оболонками трубкоподібних органів, морфофункціональний статус яких визначає стан природньої резистентності та реактивності організму, що набуває значної актуальності у період стрімкого розвитку промислового птахівництва та обумовлює показники життєздатності та продуктивності птиці. Через травну систему надходить величезний потік антигенного матеріалу, стимуляція яким сприяє розвитку, вдосконаленню і диференціації його лімфоїдних утворень, що забезпечують імунний захист як на рівні органу, так і в масштабах всього організму. Для підтримки відносної сталості внутрішнього середовища травний канал птиці володіє потужними механізмами захисту (GALT- gut associated lymphoid tissue), основними з яких є клітинні (інтраепітеліальні лімфоцити, лімфоцити lamina propria, плазматичні клітини, макрофаги та ін.) і структурні елементи (поодинокі та агреговані лімфатичні вузлики)¹.

Серед лімфоїдних утворень кишечника значне місце за масою лімфоїдної тканини належить агрегованим лімфатичним вузликам, які являють собою найбільш високоорганізовані компоненти імунної системи цього органу².

1 Yasuda M., Tanaka S., Arakawa A. A comparative study of gut-associated lymphoid tissue in chicken II Anat. Rec- 2002. V.266. N4. P. 207-217.

2 Kolomiets, I. A. (2010). Structural and functional features of lymphoid tissue of Peyer's intestinal plaques in chickens. Problems of Zoo Engineering and Veterinary Medicine, 1(2), 35–38.;

Особливості морфогенезу лімфоїдних структур кишечника свійської птиці, особливо в період від народження і до настання фізіологічної зрілості, коли відбувається інтенсивне становлення імунної системи, необхідно пильно враховувати в умовах інтенсивного птахівництва, яке визначає широке використання біологічних препаратів, що мають активну антигенну дію³.

Проте, закономірності морфогенезу периферійних лімфоїдних органів найбільш детально досліджені в людини, лабораторних тварин та деяких видів продуктивних ссавців⁴. Особливості будови лімфоїдних структур, асоційованих із слизовими оболонками трубкоподібних органів мускусної качки до сьогодні залишаються не з'ясованими. Відсутні також відомості про закономірності архітекτονіки ретикулярного остова та динаміку клітинного складу на різних стадіях формування імунних структур тонкої кишки мускусної качки.

В імунній системі розрізняють центральні і периферичні органи. До центральних органів птиці відносяться: ембріональний жовтковий мішок, кістковий мозок, тимус і клоакальна сумка, а до периферичних – селезінка, залоза Гардера, слізна залоза, дивертикул Меккеля, мигдалини сліпих кишок, ДЛТ (дифузна лімфоїдна тканина) трубкоподібних органів. Така розкиданість ЛТ (лімфоїдної тканини) пояснюється тим, що у курей, через відсутність лімфатичних вузлів, речовини, що володіють властивістю антигенів, фіксуються поблизу місць проникнення – в органах травлення і дихання – з подальшим розвитком у відповідь реакції у вигляді активної проліферації лімфоїдних клітин. Якщо ж антиген проникає в кров, то він елімінується і фіксується головним чином в селезінці.

Загальна кількість ЛТ у птиць досягає 1 % від маси тіла. Експериментально встановлено, що у птиці диференціювання і дозрівання лімфоцитів контролюються двома органами – тимусом і клоакальною сумкою. В тимусі дозрівають і диференціюються Т-лімфоцити. У клоакальній сумці –

3 Kalinovskaya, I. G. (2005). Growth and development of Peyer's plaque of the ileum of chickens in the postnatal period of ontogeny. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 229–232; Kalinovskaya, I. G. (2005). Growth and development of Peyer's plaque of the ileum of chickens in the postnatal period of ontogeny. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 229–232; Stoyanovsky, V. G. (2011). Probiotics and the immune system of the gastrointestinal tract of the bird. *Modern Poultry Farming*, 4, 21–25.

4 Імунологія. Підручник. Кузнецова Л.В., Бабаджян В.Д., Харченко Н.В. Вінниця, 2013. 565 с.; Гаврилін П. М., Нікітіна М.О. Морфометричні показники кишечника та агрегованих лімфатичних вузликів кролів м'ясного напрямку використання. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Вип. 8, №4. С. 649–655.; Горальський Л.П. Особливості гістоархітекτονіки імунних органів сільськогосподарських тварин. *Вет. медицина України*. 2003. №2. С. 22–23.; Самойлюк В.В., Гаврилін П.М., Білий Д.Д., Козій М.С., Масліков С.М. Топографія і мікроструктурна організація лімфоїдних утворів, асоційованих зі слизовою оболонкою кишечника поросят. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2019. 7 (4). С. 189–197.

В-лімфоцити. Таку особливість імунної системи птиці було підтверджено дослідженнями при використанні антисироваток проти Т-лімфоцитів і В-лімфоцитів⁵.

При експериментальному видалення одного з органів (тимуса або бурси) після вилуплення з подальшим опроміненням, дозволили виявити дві клітинні системи в периферичних тканинах селезінки і кишечника. У ссавців клоакальної сумки немає. Її аналогами є лімфоїдні утворення – мигдалики, апендикс ПБ в кишечнику, а також кістковий мозок і лімфатичні вузли.

Периферичні органи характеризуються мезодермальним походженням, лімфоепітеліальний симбіоз у них не виражений. Поява лімфоїдних елементів відбувається в пізньому ембріональному періоді або після народження. Вони зберігаються впродовж всього життя. Вираженість реакцій в цих органах повністю залежить від антигенних стимул-реакцій, утворення зародкових центрів і плазматичних клітин добре виражене після дії антигенів⁶. У дорослої птиці у зв'язку з атрофією тимуса і фабриці-свої сумки функції, які виконували ці органи, в значній мірі реалізуються вторинними лімфоїдними органами⁷.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивчення анатомо-топографічних особливостей і структури органів ШКТ ссавців і птиць до теперішнього часу залишається актуальним. Цьому питанню присвячено багато досліджень, проведених як вітчизняними, так і зарубіжними авторами. Мікроскопічна, гістохімічна і субмікроскопічна будова органів шлунково-кишкового тракту вивчена рядом авторів⁸.

5 Ivanyi J., Lydyard P. Delineation of chicken's lymphocyte populations by specified anti-thymus and anti-bursa sera. Cell. Immunol., 1972, 5 p. 180-189

6 Калиновська І.Г. Насиченість слизової оболонки тонкої кишки курей лімфоїдними утвореннями у постнатальному періоді онтогенезу. Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького. 2006. Т.8, №3(30), ч. 2. С. 40–44.

7 Коцюмбас І.Я., Жила М.І., П'ятничко О.М., Шкодяк Н.В. Морфологічні особливості імунної системи птиці. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контролю інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2019. Вип. 20(1). С. 255–262.

8 Калиновська І.Г. Насиченість слизової оболонки тонкої кишки курей лімфоїдними утвореннями у постнатальному періоді онтогенезу. Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького. 2006. Т.8, №3(30), ч.2. С. 40–44.; Logvinova, V.V., Oliyar, A.V., & Lieshchova, M.A. Формування імунних структур тонкої кишки мускусних качок (*Cairina moschata*). Theoretical and Applied Veterinary Medicine. 2020. 8(1). С. 50–55.; Pabst, O., Herbrand, H., Worbs, T., Friedrichsen, M., Yan, S., Hoffmann, M. W., Körner, H., Bernhardt, G., Pabst, R., & Förster, R. (2004). Cryptopatches and isolated lymphoid follicles: dynamic lymphoid tissues dispensable for the generation of intraepithelial lymphocytes. European Journal of Immunology. 35(1). P. 98–107.; Zaher, M., El-Ghareeb, A.-W., Hamdi, H., & AbuAmod, F. (2012). Anatomical, histological and histochemical adaptations of the avian alimentary canal to their food habits: *I-Coturnix coturnix*. Life Science Journal. 9(3). P. 253–275.

Травний канал має ряд захисних механізмів від патогенних антигенних факторів. Серед них антибактеріальні властивості слини, соку підшлункової залози, жовчі, протеолітична активність секретів, моторна діяльність кишечника, характерна ультраструктура поверхні слизової оболонки тонкої кишки, що попереджує проникнення через неї бактерій. До цих неспецифічних бар'єрних механізмів слід додати специфічну імунну систему захисту, локалізовану в травному каналі, яка займає важливу частину загальної багатокомпонентної імунної системи людини⁹.

Шлунково-кишковий тракт (ШКТ) виконує не лише травну, але й імунну функцію, зокрема, бере участь в реалізації захисних реакцій організму проти патогенних, умовно-патогенних мікроорганізмів і багатьох неорганічних речовин.

Близько 80 % всіх імунокомпетентних клітин організму локалізовано саме в слизовій оболонці кишечника; 25 % слизової оболонки кишечника складається з імунологічно активної тканини і клітин; кожен метр кишечника містить близько 1010 лімфоцитів.

В травному каналі є три групи імунокомпетентних елементів лімфоїдної тканини:

- 1) лімфатичні вузлики по всьому травному каналу; в клубовій кишці і сліпій кишці ці вузлики утворюють великі скупчення у вигляді групових ЛВЗ (пейерові бляшки);
- 2) плазматичні і Т-лімфоцити слизової оболонки травного каналу;
- 3) малі не ідентифіковані лімфоїдні клітини.

До органів імунної системи травного каналу, де локалізовані ці елементи відносяться мигдалики глоткового кільця в основі дихальної і травної системи; поодинокі лімфатичні вузлики, розміщені в стінці кишки на всьому її проміжку, згруповані лімфатичні вузлики – пейерові бляшки переважно розташовані в клубовій кишці, зустрічаються в дванадцятипалій і порожній кишках; сліпій кишці, плазматичні клітини слизової оболонки шлунка і кишечника¹⁰.

Місцева імунна система травного каналу забезпечує дві функції:

- 1) розпізнавання та індукцію толерантності до кормових антигенів;

9 Основи імунології: функції та розлади імунної системи: 6-е видання / Абул К. Аббас, Ендрю Р. Ліхтман, Шив Пілл

10 Маслянюк Р.П. Формування периферичних органів імунної системи у тварин. Біологія тварин (науково-теоретичний журнал). Львів, 2004. Т. 6, № 1–2. С. 39–43.; Zaher, M., El-Ghareeb, A.-W., Hamdi, H., & AbuAmod, F. (2012). Anatomical, histological and histochemical adaptations of the avian alimentary canal to their food habits: I-Coturnix coturnix. Life Science Journal. 9(3). P. 253–275

2) блокуючий ефект по відношенню до патогенних мікроорганізмів. Мигдалини здійснюють місцевий захист шляхом виділення в порожнину глотки імуноглобулінів, інтерферону, лізоциму, лімфоцитів, макрофагів і простагландинів. Вони сприяють формуванню імунної пам'яті шляхом утворення клону лімфоцитів, які готують імунну систему до повторної зустрічі з антигенами.

Групові лімфатичні вузлики, або ПБ, будучи імунокомпетентними елементами тонкої кишки приймають участь у розпізнанні кормових антигенів хімусу і формуванні місцевої імунної відповіді. Імунокомпетентна (лімфоїдна) тканина ШКТ представлена організованими структурами (ПБ, апендикс, мигдалини, лімфатичні вузли) і окремими клітинними елементами (інтраепітеліальні лімфоцити, плазматичні клітини, макрофаги, тучні клітини, гранулоцити). Популяція клітин лімфоїдної тканини різно-рідна і складається з безлічі груп, підгруп і клонів клітин з різними функціональними властивостями і специфічністю рецепторів до антигенів¹¹.

Багато робіт присвячено вивченню будову ЛТ тонкої кишки курчат, що по своїм гістологічним характеристикам відповідає пейеровим бляшкам ссавців. ЛТ складається з багаточисельних лімфатичних вузликів, розміщених у власній пластинці слизової оболонки. Поверхня ЛТ направлена в просвіт кишки, представлена ворсинками. Клітини епітелія, що лежать поверх ворсинок, морфологічно ідентичні клітинам ссавців¹². ПБ – це добре організовані імунокомпетентні структури шлунково-кишкового тракту (ШКТ) птиці. ПБ тонких кишок необхідні для дозрівання Т- і В-лімфоцитів і забезпечення організму секреторним IgA, вони формують імунну відповідь на місцевому рівні й детермінують системну імунну відповідь.

Дані, щодо кількості ПБ тонкої кишки ссавців і птиці є досить суперечливими і не однозначними, Корабльова Т.Р.¹³ підтверджує наявність

11 Маслянюк Р.П. Морфологічні особливості розвитку вторинних лімфоїдних органів у тварин. Р.П. Маслянюк, А.В. Венерин, Р.І. Кравців. Наук. вісник Львів. нац. акад. вет. мед. ім. С.З. Гжицького. Львів: ЛНАВМ. 2005. Т. 7 (№ 2), ч.2. С. 31–38.

12 Korableva, T.R. (2011). Limfoidnye obrazovaniya kishechnika mlekopitayushchih. Naukovi Praci Pivdennoho Filialu Nacional'nogo Universitetu Bioresursiv i Prirodokoristuvannya Ukrainy «Krimskij Agrotekhnologichnij Universitet». P. 133 (in Ukrainian); Гаврилін П. М., Нікітіна М.О. Морфометричні показники кишечника та агрегованих лімфатичних вузликів кролів м'ясного напрямку використання. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2017. Вип. 8, №4. С. 649–655. Горальський Л.П. Особливості гістоархітеконики імунних органів сільськогосподарських тварин. Вет. медицина України. 2003. №2. С. 22–23.; Самойлюк В.В., Гаврилін П.М., Білий Д.Д., Козій М.С., Масліков С.М. Топографія і мікроструктурна організація лімфоїдних утворів, асоційованих зі слизовою оболонкою кишечника поросят. Theoretical and Applied Veterinary Medicine. 2019. 7 (4). С. 189–197.

13 Korableva, T.R. (2011). Limfoidnye obrazovaniya kishechnika mlekopitayushchih. Naukovi Praci Pivdennoho Filialu Nacional'nogo Universitetu Bioresursiv i Prirodokoristuvannya Ukrainy «Krimskij Agrotekhnologichnij Universitet». P. 133 (in Ukrainian).

даних структур у складі дванадцятипалої кишки – 1 ПБ, порожньої від 14 до 38 ПБ. Результати досліджень В.Г. Стояновського¹⁴ вказують на наявність в дванадцятипалій кишці лише однієї бляшки, яка виявляється не у всіх особин в дванадцятипалій кишці функціонує лише 1 бляшка, яка виявляється не у всіх особин; у порожній – 2–6 бляшок, у клубовій – 1 бляшка, яка постійно реєструється у всіх особин.

За твердженням Коломієць І.А.¹⁵ попередніми дослідженнями показано, що у дванадцятипалій кишці функціонує одна бляшка, яка локалізується через 4,5–6 см після поперечного згину кишки; у порожній – 5–6 бляшок, вони локалізуються в краніальній і каудальній частинах, а в центральній частині, де розташовується дивертикул Меккеля, за 30 см до нього і 6 см нижче від нього вони не спостерігаються взагалі; в клубовій – одна бляшка, яка постійно реєструється лише у початковому відділі.

За даними Калиновської І.Г. 16 у слизовій оболонці тонкої кишки дорослих курей макроскопічно виявляється від 5 до 12 ПБ, які розташовані майже рівномірно по всій її довжині. З них, по одній ПБ знаходиться в 12-палій та клубовій кишках, в порожній кишці дорослих курей нараховується від 3 до 7 ПБ. Рідко їх кількість сягає 10¹⁶.

У дванадцятипалій та клубовій кишках така плямка одна, а в порожній – 3. Найбільша кількість плямок нараховується у сліпих кишках 30–62. Їх розміри збільшуються з віком качок¹⁷.

При дослідженні товстого кишечника курчат породи білий леггорн, було визначено, що з моменту автономного харчування значно змінюється структура м'язової і особливо слизової оболонки (потовщення, пов'язане з ростом, появою складок і ворсинок, в епітелії – бокало-видних клітин).

Процес диференціації в апікальній частині сліпих кишок завершується пізніше. Диференціація слизової і м'язової оболонок пов'язана, вірогідно, з характером корма при зміні раціону в різних групах. Поява лімфоцитарної

14 Stoyanovsky, V. G. (2011). Probiotics and the immune system of the gastrointestinal tract of the bird. *Modern Poultry Farming*, 4, 21–25.

15 Kolomiets, I. A. (2010). Structural and functional features of lymphoid tissue of Peyer's intestinal plaques in chickens. *Problems of Zoo Engineering and Veterinary Medicine*, 1(2), 35–38.

16 Kalinovskaya, I. G. (2005). Growth and development of Peyer's plaque of the ileum of chickens in the postnatal period of ontogeny. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 229–232.

17 Хомич В.Т., Мазуркевич Т.А., Усенко С.І. Топографія і макроскопічні показники імунних утворень кишечника качок віком 1–20 діб. *Вісн. Націонал. аграр. ун-ту. Київ*, 2012. Вип. 20. С. 191–193.

інфільтрації і лімфатичних вузликів пов'язано з особливостями фізіології травлення птиці або з редукцією клоакальної сумки¹⁸.

Найважливіша властивість системи місцевого імунітету кишечника – феномен рециркуляції лімфоцитів. Сенсibilізовані антигенами (як харчовими, так і інфекційними) лімфоцити пейєрових бляшок мігрують у брижові лімфатичні вузли, а звідти по лімфатичних судинах через грудну протоку і систему кровообігу спрямовуються до власного шару слизової оболонки кишечника, головним чином в якості клітин, секретируючих IgA.

Цей механізм забезпечує формування клонів лімфоцитів і утворення специфічних антитіл в ділянках слизової оболонки, віддалених від вогнища первинної сенсibilізації.

Наряду з проліферацією клітин лімфоїдного ряду в ЛТ органів травного апарату відбувається диференціювання клітинних елементів, при цьому важливу роль відіграє середовище мікрооточення, специфічне для кожного органа імуногенеза. Таке специфічне мікрооточення для кровотворної і ЛТ створюють ретикулярні клітини і волокна, фібробласти і макрофаги, а також тканинні компоненти кровоносних і лімфатичних судин.

Основу імунних утворень кишечника складає лімфоїдна тканина, яка в своєму розвитку послідовно проходить 4 рівні структурної організації: ДЛТ – передвузлик – первинний ЛВЗ – вторинний ЛВЗ¹⁹.

Першим етапом розвитку лімфоїдних утворень вважається поява вогнищевих скупчень дифузної форми ЛТ. Ці скупчення мають більш менш однакову будову (без помітних ущільнень або розріджень).

Другий етап характеризується диференціюванням лімфоїдних утворень і появою в дифузній формі ЛВЗ без центрів розмноження. ЛТ ніби «дозріває», приходить в стан функціональної зрілості і активності для зустрічі з чужорідними агентами. Деякі автори доводять, що ЛВЗ формуються не у всіх скупченнях ДЛТ. Так, ЛВЗ не виявлено в стінці стравоходу, трахеї і бронхів, сечовивідних шляхів.

18 Mazurkevych, T.A. (2014). Morfohenez pliamky Peiera klubovoi kyshky kachok Blahovarskoho krosu vikom 25–120 dib [Morphogenesis of the Peyer's patch of duck ileum at Blahovarsky cross aged from 25 to 120 days]. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences. 16, 2(59). P. 212–218 (in Ukrainian).

19 Mazurkevych, T.A. (2014). Morfohenez pliamky Peiera klubovoi kyshky kachok Blahovarskoho krosu vikom 25–120 dib [Morphogenesis of the Peyer's patch of duck ileum at Blahovarsky cross aged from 25 to 120 days]. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences. 16, 2(59). P. 212–218 (in Ukrainian).; Коцюмбас І.Я., Жила М.І., П'ятничко О.М., Шкодяк Н.В. Морфофункціональні особливості імунної системи птиці. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2019. Вип. 20(1). С. 255–262.

Третім етапом формування лімфоїдних утворень вважається поява в ЛВЗ центрів розмноження. Центри розмноження утворюються в компактних скупченнях ЛВЗ і збільшуються в розмірах при контакті організму з антигенами ендogenous та екзогенного походження.

Наявність в окремих імунних утвореннях вторинних ЛВЗ свідчить про їх морфофункціональну зрілість, тобто їх можливість давати повноцінну імунну відповідь на дію антигену.

Четвертим етапом змін лімфоїдних утворень в онтогенезі є зникнення ЛВЗ в результаті їх зворотного розвитку при віковій трансформації лімфоїдних утворень. Одночасно зменшується кількість ДЛТ.

2. Матеріал і методи досліджень

Матеріал для морфологічних досліджень (дванадцятипала, порожня, клубова кишки) відбирали від клінічно здорових тварин 1-; 5-; 10-; 15-; 20-25-; 30-; 60-; 90-; 120-; 150-; 180-; 210-; 240- добового віку (по 5 голів у кожній групі). Всього досліджено 210 органів. Визначення анатомо-топографічних особливостей агрегованих та поодиноких лімфатичних вузликів проводили за допомогою методики Hellman 20. Для гістологічних досліджень лімфоїдних утворень відбирали дванадцятипалу, порожню та клубову кишки. Дослідження органів проводили із використанням комплексу методик. Матеріал фіксували в декілька етапів: спочатку в 5 % розчині нейтрального формаліну – 5 діб, в подальшому органи до закінчення досліджень зберігали в 10 % нейтральному розчині формаліну.

Гістологічні зрізи стінки тонкої кишки виготовляли за допомогою полозкового мікротому МС-2, (товщиною 5–10 мкм – для оглядових препаратів та гістологічних досліджень, 3–5 мкм для цитологічних досліджень). Для фіксації гістозрізів на предметному склі використовували розчин на основі плазми крові тварин. Фарбування гістологічних зрізів гематоксиліном та еозином; азур II-еозином проводили за загальноприйнятими методиками²⁰.

Імпрегнацію зрізів азотнокислим сріблом за Футом проводили із використанням заморожених зрізів. Дослідження гістопрепаратів проводили за допомогою світлових мікроскопів Olympus CH-20, CX-41

20 Horalskyi, L. P., Khomych, V. T., & Kononskyi, O. I. (2019). Osnovy histologichnoyi tekhniki i morfofunktsionalni metody doslidzhen u normi ta pry patolohiyi [Fundamentals of histological techniques and morphological methods of investigation in normal and pathological conditions]. Zhytomyr, Polissya Publ (in Ukrainian).

(окуляр 10×; об'єктив 10×; 40×; 100×) і мікроскопа біологічного стереоскопічного МБС-10 (окуляр 8×, об'єктив 4×, 7×).

Відносну площу тканинних компонентів (дифузної лімфоїдної тканини, лімфатичних вузликів з центрами та без центрів розмноження, епітелія і крипт, сполучної тканини) визначали за методикою „крапкового підрахунку” за допомогою стандартної окулярної сітки-вставки. Весь цифровий матеріал, обробляли за допомогою стандартних комп'ютерних програм StatSoft STATISTICA 8.0.550 Portable. Достовірність різниці між середніми арифметичними та рівня вірогідності визначали за таблицями Стюдента.

3. Результати досліджень

Структури лімфоїдних утворень стінки тонкої кишки мускусних качок характеризуються рядом закономірностей. Процес морфофункціональної диференціації і спеціалізації лімфоїдних утворень тонкої кишки в мускусних качок відбувається у певній послідовності: від стадії концентрації лімфоїдних клітин, що розміщені у власній пластинці слизової оболонки тонкої кишки добових каченят, представлених невеликою кількістю поодинокі розташованих лімфоцитів, до формування поодинокі, а в подальшому й агрегованих лімфатичних вузликів без центрів та з центрами розмноження у 90- 240- добової птиці.

До 20-добового віку каченят лімфоїдні утворення всіх відділів тонкої кишки представлені дифузними лімфоїдними клітинами, що локалізовані у власній пластинці слизової оболонки та мають вигляд однорідних за своєю будовою вогнищевих скупчень дифузної лімфоїдної тканини без видимих розріджень та ущільнень в центрі. В подальшому, в процесі диференціації лімфоїдної тканини починають формуватися ЛВЗ.

Вперше ДЛТ зустрічається у складі порожньої кишки 5-добової птиці і становить 0,46 %.

У 10-добової птиці в порожній кишці відмічається збільшення вмісту ДЛТ на 0,23 %. В цей період відбувається активне формування ЛВЗ (рис. 1).

У 15-добових каченят спостерігається поступове збільшення ВП ДЛТ – на 0,38 %.

Лімфоїдні структури слизової оболонки дванадцятипалої кишки у мускусних качок представлені виключно ДЛТ та поодинокими ЛВЗ, що

з'являються, починаючи з 20-25-добового віку, кількість яких поступово збільшується до настання статевої зрілості.

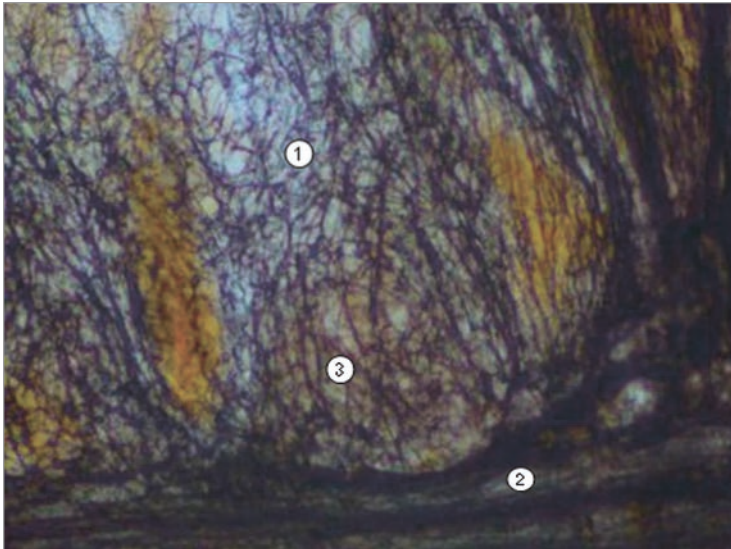


Рис. 1. Гістологічний зріз порожньої кишки 10-добового каченяти:
1- власна пластинка слизової оболонки; 2 – м'язова оболонка;
3- лімфатичний вузлик. Імпрегнація азотнокислим сріблом
за Футом. $\times 600$, Leica CX100.

Вторинні ЛВЗ, як основні морфологічні маркери імункомпетентності, в слизовій оболонці дванадцятипалої кишки качок виявляються, переважно, у статевозрілих (210-240-добових) особин. Характерні для даного органу ссавців агреговані ЛВЗ у качок до 240 – добового віку не виявляються.

Лімфоїдні утворення порожньої кишки 20-добової птиці, у порівнянні з 15-добовими, характеризуються збільшенням ВП ДЛТ на 0,13 %, а також появою ЛВЗ без центрів розмноження, вміст яких становить 0,86. В слизовій оболонці клубової кишки вміст ДЛТ становить 9,22 %. У складі дванадцятипалої кишки ДЛТ виявляється вперше, її вміст становить 1,41 %.

На відміну від дванадцятипалої кишки основними лімфоїдними структурами слизової оболонки порожньої і клубової кишок качок є агрегати лімфатичних вузликів або Пейєрові бляшки (ПБ).

В порожній кишці мускусних качок ПБ вперше виявляються в 25 – добовому віці і містять всі характерні для даних структур паренхіматозні та стромальні компоненти.

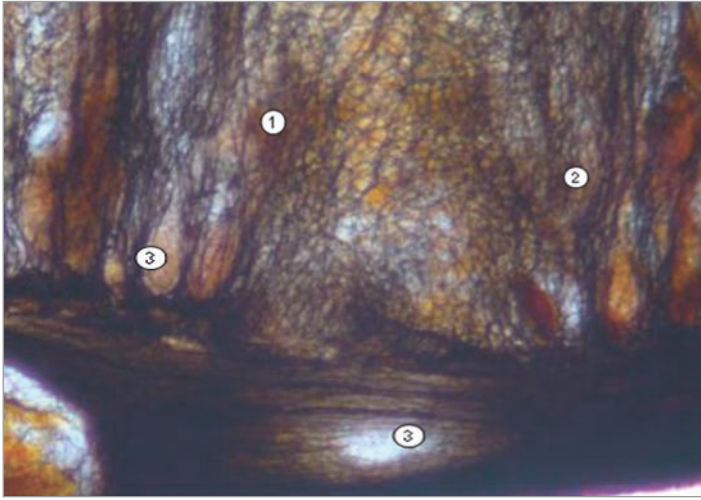


Рис. 2. Гістологічний зріз порожньої кишки 25-добового каченяти:
1- власна пластинка слизової оболонки; 2 – м'язова оболонка;
3- лімфатичний вузлик. Імпрегнація азотнокислим сріблом
за Футом. $\times 600$, Leica CX100.

В період від 20- до 25-добового віку в слизовій оболонці дванадцятипалої кишки, лімфодні структури характеризуються переважним розвитком ДЛТ.

В бляшках порожньої кишки 25 – добових каченят відносна кількість ДЛТ ($4,10 \pm 0,62$ %) практично рівномірна вмісту вузликової (вузлики без центрів розмноження $2,69 \pm 1,41$ %, з центрами $3,61 \pm 1,44$ %) (рис. 2).

У 30-добової птиці в слизовій оболонці дванадцятипалої кишки вміст ВП ДЛТ має тенденцію до збільшення (на 1,68 %), порівняно з 25-добовою, а ЛВЗ без центрів розмноження виявляються вперше в цей період, їх частка становить 1,12 %.

В порожній кишці відмічається збільшення ВП ДЛТ, ЛВЗ без центрів розмноження у складі агрегованих ЛВЗ – на 0,29 %, 2,64 %, відповідно, і навпаки, зменшення ВП ЛВЗ з центрами розмноження на 3,04 %. ВП компонентів агрегованих ЛВЗ клубової кишки характеризується збільшенням ДЛТ на 4,25 %, появою ЛВЗ без центрів розмноження, ВП яких сягає 6,75 %.

В слизовій оболонці порожньої та клубової кишки каченят починаючи з 30-добового віку паралельно з ДЛТ відмічається формування ретикулярної строми лімфатичних вузликів, що спочатку представлена

густою сіткою звивистих волокон, які з'єднуються між собою утворюють рівномірні дрібні комірки. В подальшому формуються так звані «ретикулярні кошики» (рис. 3). Гермінативний центр лімфатичного вузлика має більш розріджені ретикулярні волокна, між відростками яких розташовуються лімфоцити і макрофаги.

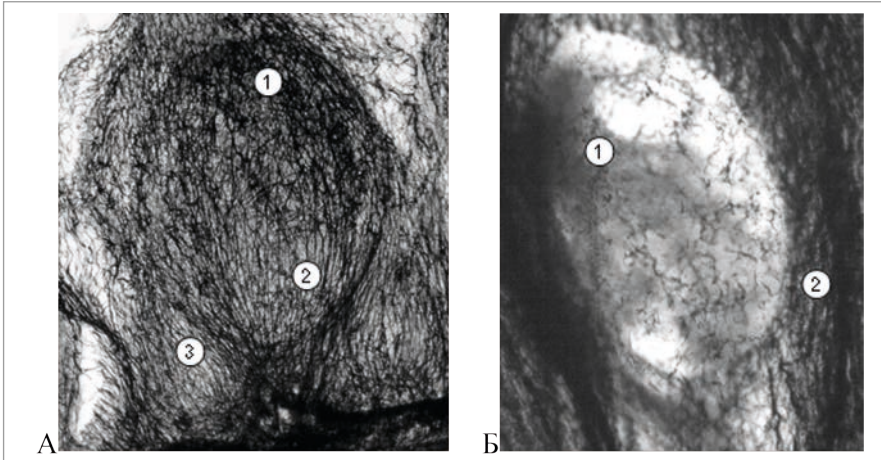


Рис. 3. Гістологічний зріз порожньої кишки: А- 60-добового каченяти, Б- 210-добового каченяти: 1-лімфатичний вузлик; 2 – ретикулярні кошики; 3-білявузликова зона. Імпрегнація азотнокислим сріблом за Футом. х600, Leica CX100.

Архітектоніка ретикулярних волокон агрегованих лімфатичних вузликів 30-добових мускусних качок характеризується формуванням рівномірних сіток ретикулярних волокон. До 60-добового віку ретикулярні волокна стають більш щільними, розташовуються без певної орієнтації. Поміж товстих волокон виявляються тонкі ретикулярні волокна. Переплітаючись між собою і товсті і тонкі ретикулярні волокна утворюють густу сітку (рис. 3).

У зрілому (реактивному) вузлику чітко виділяється гермінативний центр і периферична частина – мантия, в склад якої входять, переважно, малі лімфоцити. Характерно, що кількість і розміри вузликів з віком збільшуються. Ретикулярна сітка лімфатичних вузликів, при цьому розріджується, до її часткового витончення, а в подальшому й фрагментації.

В цей період в порожній та клубовій кишці відносна кількість клітинних компонентів (великих лімфоцитів, плазмочитів і макрофагів, середніх

лімфоцитів і ретикулярних клітин) у складі лімфоїдної тканини має тенденцію до збільшення.

Слід відмітити, що повний комплекс морфологічних ознак імунологічної реактивності в ЛВЗ порожньої та клубової кишки виявляється лише у 60-добової птиці. На тканинному рівні кишкову бляшку формують лімфатичні вузлики, що розміщуються у власній пластинці слизової оболонки, переважно, у ділянці основи кишкових ворсин. Лімфатичні вузлики локалізовані серед ДЛТ, яка повністю заповнює проміжки між кишковими ворсинками та криптами, місцями руйнуючи їх, що утворює вигляд своєрідних «септ» (рис. 4).

Результати наших досліджень свідчать, що найбільш суттєве збільшення ДЛТ в агрегованих ЛВЗ порожньої кишки мускусних качок відбувається в період з 30 до 60 добового віку. В результаті у 60-добових каченят ВП ДЛТ в агрегованих ЛВЗ порожньої кишки є максимальною. В подальшому динаміка ДЛТ в агрегованих ЛВЗ порожньої кишки характеризується чітко вираженою тенденцією до зниження на фоні інтенсивного розвитку ЛВЗ як без центрів так з центрами розмноження. Архітектоніка ретикулярного остова агрегованих та поодиноких ЛВЗ характеризується наявністю сіток ретикулярних волокон, які краще виражені в підслизовій основі.



Рис. 4. Гістологічний зріз клубової кишки 90-добового каченяти:
1- власна пластинка слизової оболонки; 2 – м'язова оболонка;
3- лімфатичний вузлик. Імпрегнація азотнокислим сріблом
за Футом. х600, Leica CX100.

Ретикулярна основа вторинних лімфатичних вузликів має великокомірчасту архітектуру із слабо вираженими «ретикулярними кошиками» по периферії. Деякі лімфатичні вузлики проривають м'язову пластинку слизової оболонки та розміщуються у товщі м'язової оболонки групами по декілька штук, утворюючи скупчення, відмежовані один від одного м'язовими прошарками. Розмір лімфатичних вузликів м'язової оболонки значно поступається тим, що розташовані у власній пластинці слизової оболонки.

Починаючи з 90-добового віку каченят у стінці порожньої та клубової кишок відбувається стрімкий розвиток вторинних ЛВЗ на тлі зменшення ВП ДЛТ у складі агрегованих ЛВЗ. ЛВЗ збільшуються у розмірах та локалізуються у власній пластинці слизової оболонки у основи та на рівні середини висоти кишкових ворсин (рис. 4.). В слизовій оболонці дванадцятипалої кишки в цей період відмічаємо появу ЛВЗ з центрами розмноження їх вміст становить 1,10 %, а ВП ДЛТ і ЛВЗ без центрів розмноження зменшується (на 0,61 % і 0,56 %, відповідно).

Від 120-добового віку до настання статевої зрілості (240-днів) в слизовій оболонці усіх відділів тонкої кишки завершується формування ЛВЗ як з центрами, так і без центрів розмноження. У порожній і клубовій кишках збільшується розмір і кількість агрегованих ЛВЗ (рис. 5.), в складі яких преvalюють ЛВЗ із центрами розмноження. У складі дванадцятипалої кишки відмічаємо зменшення ВП ДЛТ за рахунок збільшення ЛВЗ без центрів розмноження.

Лімфоїдні утворення дванадцятипалої кишки мускусних качок 150-добового віку характеризуються стабільним збільшенням ДЛТ – на 1,27 %, та незначним зменшенням ВП вузликової ЛТ (без центрів та з центрами розмноження – на 0,03 % і 0,08 %, відповідно), порівняно з 120-добовими. У агрегованих ЛВЗ порожньої кишки спостерігається збільшення вузликової лімфоїдної тканини, а саме ЛВЗ без центрів – на 10,24 %, з центрами розмноження – на 0,41 %. В клубовій кишці тенденцію до зменшення мають як ДЛТ, так і вузликова (ДЛТ – на 8,78 %, ЛВЗ без центрів розмноження – на 2,90 %, з центрами розмноження – на 1,45 %).

До 180-добового віку спостерігається тенденція до зменшення, як ДЛТ так і вузликової тканини у складі дванадцятипалої кишки. ВП ДЛТ зменшується на 0,02 %, ЛВЗ без центрів та з центрами розмноження – на

0,04 % і 0,07 %, відповідно. В агрегованих ЛВЗ порожньої кишки відбувається збільшення ДЛТ, ЛВЗ з центрами розмноження (на 11,35 %; 2,11 %, відповідно). За рахунок зменшення ВП ЛВЗ без центрів розмноження – на 8,65 %. Стабільно збільшується, відносно структур 150-добових качок, ВП ДЛТ, ЛВЗ з центрами розмноження та, у складі агрегованих ЛВЗ клубової кишки: ДЛТ – на 5,60 %, ЛВЗ з центрами розмноження на – 1,71 %. ВП ЛВЗ без центрів розмноження, навпаки, зменшується – на 1,17 %.

Лімфоїдні утворення дванадцятипалої кишки 210-добової птиці характеризуються збільшенням ВП її компонентів: ДЛТ – на 0,62 %, ЛВЗ без центрів та з центрами розмноження – на 0,15 %. В порожній кишці ВП ДЛТ і ЛВЗ з центрами розмноження зменшується (на 10,79 % і 0,56 %), відповідно, в той час як ВП ЛВЗ без центрів розмноження – поступово збільшується (на 7,99 %). У агрегованих ЛВЗ клубової кишки ВП ДЛТ і ЛВЗ з центрами розмноження збільшується на 8,71 % і 0,36 %, за рахунок зменшення ВП ЛВЗ без центрів розмноження (на 7,71 %).

До 240-добового віку ВП структурних компонентів лімфоїдних утворень дванадцятипалої кишки має чітку тенденцію до зменшення: ДЛТ – на 1,00 %, ЛВЗ без центрів та з центрами розмноження – на 0,07 % і 0,16 %, відносно 210-добових качок (рис. 5.). В порожній кишці ВП ДЛТ і ЛВЗ з центрами розмноження збільшується на – 12,58 % і 1,31 %, за рахунок зменшення частки ЛВЗ без центрів розмноження – на 4,46 %.

В цей період особливістю динаміки агрегованих ЛВЗ клубової кишки є зменшення ВП вузликової ЛТ, тоді як вміст ДЛТ, навпаки, збільшується. ВП ЛВЗ з центрами та без центрів розмноження зменшується на – 0,64 % і 2,74 %, відповідно, а частка ДЛТ, навпаки, збільшується на – 8,38 %.

У фізіологічно зрілих 240 – добових качок (рис.5.), спостерігається зворотній процес – кількість ДЛТ і ЛВЗ з центрами розмноження збільшується до рівня 90- добових особин, за рахунок незначного зменшення ВП ЛВЗ без центрів розмноження.

Тобто, у морфогенезі лімфоїдних структур порожньої та клубової кишки, на відміну від дванадцятипалої, в мускусних качок можна виділити три основних періоди: переважний розвиток ДЛТ (5-25-добового віку); ЛВЗ без центрів розмноження (25-60-добового віку) та вузликів з центрами розмноження (60-240-добового віку) на тлі активного формування агрегованих ЛВЗ.

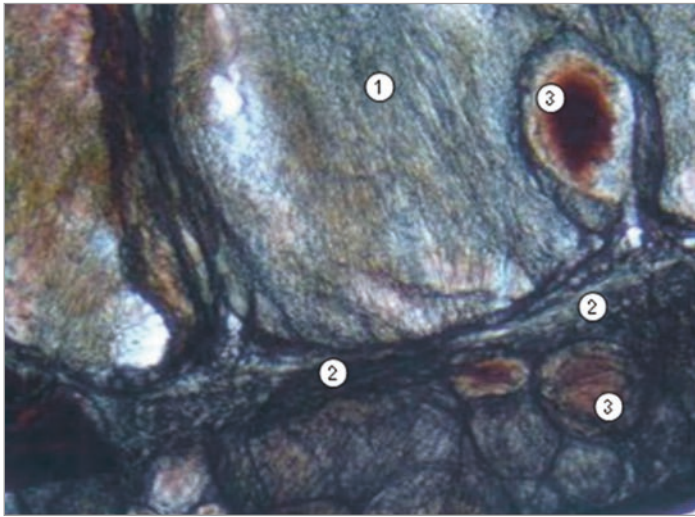


Рис. 5. Гістологічний зріз порожньої кишки 240-добового качки:
1- власна пластинка слизової оболонки; 2 – м'язова оболонка;
3 – лімфатичний вузлик. Імпрегнація азотнокислим сріблом
за Футом у модифікації П. М. Гавриліна. х600, Leica CX100.

Аналіз результатів власних досліджень свідчить, що комплекс морфологічних ознак функціональної зрілості відносно імунологічної реактивності імунних утворень слизової оболонки тонкої кишки мускусної качки, у ранньому постнатальному онтогенезі формується у більш пізніші строки, ніж у відповідних органах ссавців. Імунні утворення, які забезпечують специфічну імунологічну реактивність, активно формуються в перші тижні та місяці життя поступово, починаючи з лімфоїдних структур слизової оболонки органів травлення і закінчуючи лімфоїдними органами внутрішнього середовища організму, що підтверджується роботами І.А. Коломієць, В.Т. Хомича та І. Г. Калиновської²¹.

21 Kolomiets, I. A. (2010). Structural and functional features of lymphoid tissue of Peyer's intestinal plaques in chickens. *Problems of Zoo Engineering and Veterinary Medicine*, 1(2), 35–38.; Kalinovskaya, I. G. (2005). Growth and development of Peyer's plaque of the ileum of chickens in the postnatal period of ontogeny. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 229–232.; Калиновська І.Г. Насиченість слизової оболонки тонкої кишки курей лімфоїдними утвореннями у постнатальному періоді онтогенезу. *Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького*. 2006. Т.8, №3(30), ч.2. С. 40–44.; Хомич В.Т., Мазуркевич Т.А., Усенко С.І. Топографія і макроскопічні показники імунних утворень кишечника качок віком 1-20 діб. *Вісн. Націонал. аграр. ун-ту Київ*, 2012. Вип. 20. С. 191–193.; Pabst, O., Herbrand, H., Worbs, T., Friedrichsen, M., Yan, S., Hoffmann, M. W., Körner, H., Bernhardt, G., Pabst, R., & Förster, R. (2004). Cryptopatches and isolated lymphoid follicles: dynamic lymphoid tissues dispensable for the generation of intraepithelial lymphocytes. *European Journal of Immunology*. 35(1). P. 98–107.; Takeuchi, T., Kitagawa, H., Imagawa, T., & Uehara, M. (1998). Proliferation and cellular kinetics of villous epithelial cells and M cells in the chicken caecum. *Journal of Anatomy*. 193(2). P. 233–239.; Zaher, M., El-Ghareeb, A.-W., Hamdi, H., & AbuAmod, F. (2012). Anatomical, histological and histochemical adaptations of the avian alimentary canal to their food habits: *I-Coturnix coturnix*. *Life Science Journal*. 9(3). P. 253–275.

Отже, диференціація лімфоїдних структур тонкої кишки мускусних качок має регіонарні особливості, відбувається у певній послідовності та проходить декілька етапів²².

На першому етапі у власній пластинці слизової оболонки формується невелика кількість поодинокі розташованих лімфоцитів. В подальшому утворюються скупчення дифузної лімфоїдної тканини, яка має однотипову будову без помітного зростання щільності розміщення лімфоцитів.

На другому етапі серед дифузної лімфоїдної тканини утворюються первинні лімфатичні вузлики й починають формуватися їх агрегати.

На третьому етапі, поряд із збільшенням розмірів лімфатичних вузликів та утворенням маргінальної зони, з'являються центри розмноження і формуються вторинні лімфатичні вузлики, на тлі зменшення відносної кількості дифузної лімфоїдної тканини.

Тобто повний комплекс морфологічних ознак, який свідчить про функціональну зрілість паренхіми органів у відношенні імунологічної реактивності, не залежно від відділу тонкої кишки мускусних качок, формується у постнатальному онтогенезі протягом перших двох місяців життя тварин.

На четвертому етапі збільшується розмір лімфатичних вузликів та локалізація – майже по всій товщині власної пластинки слизової оболонки, що призводить до місцевого руйнування кишкових залоз та утворення своєрідних «септ». В подальшому лімфатичні вузлики проривають м'язову пластинку слизової оболонки та розміщуються також у м'язовій оболонці групами, відмежованими м'язовими прошарками.

4. Аналіз результатів експериментальних досліджень

Порівнюючи результати наших досліджень з іншими авторами відмічаємо: що стосується будови і розвитку лімфоїдної тканини в тонкому відділі кишечника у білих щурів лімфоїдні пляшки починають формуватися на 19-у добу антенатального періода онтогенезу і продовжують розвиватися до одного місяця життя²³. Динаміка клітинного складу виражається в

22 Logvinova, V., & OliyarA. (2021). Histoarchitectonics of Lymphoid Formations of the Mucosa of the Small Intestine of Musky Ducks. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Veterinary Medicine, (1 (52), 31-37. DOI: <https://doi.org/10.32845/bsnau.vet.2021.1.5>

23 Sierrro F., Pringault E., Assman P. S., Kraehenbuhl J. P., Debard N. Transient expression of M-cell phenotype by enterocyte-like cells of the follicle-associated epithelium of mouse Peyer's patches. Gastroenterology. 2000. 119(3). P. 734--743. DOI: <https://doi.org/10.1053/gast.2000.16481>.

збільшенні абсолютної кількості всіх видів клітин і зміні їх співвідношення до місячного віку до показників, відповідних дорослої тварини. Спостерігається зниження кількості всіх видів клітин по зонах, змінюється їх співвідношення, гальмується лімфо- і плазмоцитоз.

У кроликів мигдалина клубової кишки складається з двох шарів: кишково-залозистого поверхневого і глибше лежачого лімфоїдного. Гладком'язова тканина з м'язової оболонки проходить у вигляді тяжів в горизонтальному напрямі і формує пучки довкола судин, нервів і залоз²⁴.

У ховрахів встановлена сезонна інволюція лімфоїдної тканини тонкого відділу кишечника. Лімфоїдна тканина власної пластинки слизової оболонки у складі пейєрових бляшок впродовж річного циклу піддається істотним змінам. Основною ознакою є загасання проліферації лімфоїдних клітин восени перед зимівлею (у жовтні), майже повна зупинка проліферації в першу половину періоду сплячки (у листопаді – грудні) і її активізації в другій половині періоду зимівлі (у січні-березні).

За результатами досліджень встановлено, що формування лімфоїдних вузликів, пов'язаних з утворенням імунокомпетентних клітин, відбувається в сліпокишкових лімфоїдних бляшках лише до 30-денного віку. На відміну від центральних органів імунітету, лімфоїдні бляшки досягають максимальної морфофункціональної зрілості значно пізніше, лише до 180-денного віку, тобто в період розквіту організму²⁵.

Надалі кількість і розміри лімфоїдних вузликів зменшуються, розростаються сполучнотканинні елементи і відбувається вікова регресія лімфоїдних структур сліпокишкових бляшок.

Отримані результати свідчать про те, що до кінця передзлучного віку (ювенільного) у лабораторних щурів кількість, розміри і відношення площі поверхні пейєрових бляшок до площі поверхні тонкої кишки

24 Gavrilin, P.M., & Nikitina, M.O. (2019). Microanatomical aspects of the intestines and gut-associated lymphoid tissue of meat rabbits. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 7(1). P. 42–46.; Гаврилін П. М., Нікітіна М.О. Морфометричні показники кишечника та агрегованих лімфатичних вузликів кролів м'ясного напрямку використання. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Вип. 8, №4. С. 649–655.; Romero C., Rebollar P. G., Dal Bosco A., Castellini C., Cardinali R. Dietary effect of short-chain organic acids on growth performance, mortality and development of intestinal lymphoid tissues in young non-medicated rabbits. *World Rabbit Science*. 2011. 19(3). P. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2011.866>.

25 Горальський Л.П. Особливості гістоархітекtonіки імунних органів сільськогосподарських тварин. *Вет. медицина України*. 2003. №2. С. 22–23.; Самойлюк В.В., Гаврилін П.М., Білий Д.Д., Козій М.С., Масліков С.М. Топографія і мікроструктурна організація лімфоїдних утворів, асоційованих зі слизовою оболонкою кишечника поросят. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2019. 7 (4). С. 189–197.

зростають. Мабуть, це пов'язано із зростаючою активністю периферичних органів імунної системи у тварин даного вигляду²⁶.

З віком у тварин відбувається збільшення довжини і діаметру тонкої кишки, зменшення кількості ПБ, а також відношення площі їх поверхні до загальної площі поверхні тонкої кишки, що говорить про зниження активності периферичних органів імунного захисту у щурів зрілого віку. Відстані між ПБ мають обернено пропорційну залежність з показниками кількості і ширини ПБ. Площі ПБ тонкої кишки і відношення площі їх поверхні до загальної площі внутрішньої поверхні тонкої кишки прямо пропорційно залежать від їх довжини і ширини. Довжина, діаметр і площа внутрішньої поверхні тонкої кишки прямо пропорційно залежать від маси тварини. Відстань між ПБ має обернено пропорційну залежність від кількості ПБ у всіх вікових групах тварин²⁷.

Анатомічна і гістологічна будова лімфоїдних утворень кишечника свійської птиці, а також їх вікові перетворення вивчені рядом авторів:

За твердженням Калиновської І.Г.²⁸ у добових курчат імунні утворення представлені тільки окремими осередками ДЛТ у власній пластинці слизової оболонки. Так, у 5-добових курчат в ДЛТ імунних утворень виникають ПБ дванадцятипалої та порожньої кишок з 10-добового віку, а клубової – з 15-добового віку. Вторинні ЛВ, що свідчать про початок настання морфофункціональної зрілості, починають формуватися в ПБ дванадцятипалої та порожньої кишки курчат віком 15 діб, а в ПБ клубової кишки – з 20-добового віку. Максимального розвитку імунні утворення кишечника досягають у 3–4-місячному віці, тобто ще до настання статевої зрілості. У курей старшого віку вміст лімфоїдної тканини дещо зменшується, але залишається високим до 2-річного віку. Формування і розвиток імунних утворень кишечника курей відбувається асинхронно

26 Sierro F., Pringault E., Assman P. S., Kraehenbuhl J. P., Debard N. Transient expression of M-cell phenotype by enterocyte-like cells of the follicle-associated epithelium of mouse Peyer's patches. *Gastroenterology*. 2000. 119(3). P. 734–743. doi: 10.1053/gast.2000.16481.

27 Гаврилін П. М., Нікітіна М. О. Морфометричні показники кишечника та агрегованих лімфатичних вузликів кролів м'ясного напрямку використання. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Вип. 8, №4. С. 649–655.; Горальський Л. П. Особливості гістоархітекtonіки імунних органів сільськогосподарських тварин. *Вет. медицина України*. 2003. №2. С. 22–23.; Самойлюк В. В., Гаврилін П. М., Білий Д. Д., Козій М. С., Масліков С. М. Топографія і мікроструктурна організація лімфоїдних утворів, асоційованих зі слизовою оболонкою кишечника поросят. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2019. 7 (4). С. 189–197.; Масляк Р. П., Венгрин А. В. Формування периферичних органів імунної системи у тварин. *Біологія тварин (науково-теоретичний журнал)*. Львів, 2004. Т. 6, №1–2. С. 39–43.

28 Калиновська І. Г. Насиченість слизової оболонки тонкої кишки курей лімфоїдними утвореннями у постнатальному періоді онтогенезу. *Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького*. 2006. Т. 8, №3(30), ч. 2. С. 40–44.

протягом 15-25 діб після вилуплення. Морфофункціональна зрілість ПБ дванадцятипалої та порожньої кишок настає у 15-добовому віці, клубової кишки – у 20-добовому віці. Максимальний вміст лімфоїдної тканини в імунних утвореннях, зареєстрований у курей 3-4-місячного віку, а максимальна лімфоїдних вузликів в ній – у 6-7-місячних²⁹.

За даними окремих авторів морфо-функціональна зрілість ПБ у курей настає з 20-добового віку. Але у дослідників не має єдиної думки щодо процесів становлення специфічної функції цих органів імуногенезу впродовж постнатального онтогенезу і, особливо, у продуктивний яйценосний період життя курей³⁰.

Коломієць І.А. 31 вважає, що ПБ 120-, 150-, 180-добових курей мають всі ознаки функціональної активності. У них виявлені передвузликові форми, первинні та вторинні лімфоїдні вузлики і дифузна лімфоїдна тканина. Підводячи підсумки розгляду структурної організації лімфоїдних бляшок слід зазначити, що у птиці і ссавців ці периферичні органи імуногенезу, мають загальний план будови і розрізняються лише за топографічним принципом: у ссавців в основному групові лімфоїдні вузлики розташовуються в області тонкого кишечника, а птиці – в області товстого³¹.

За даними Стояновського В.Г.³² у курчат 5-добового віку в тонких кишках виявлено $3,4 \pm 0,245$ ПБ і до 42-добового віку їх кількість зростає до $6,2 \pm 0,374$ шт. Відмічається тенденція до збільшення кількості ПБ у тонких кишках курчат 20- та 30-добового віку та зростання розмірів ПБ протягом дослідного періоду.

Як показують дослідження Хомич В.Т.³³ макроскопічні морфометричні показники ПБ тонкої кишки поступово стабільно збільшуються від добо-вого до двадцятидобового віку.

29 Kolomiets, I. A. (2010). Structural and functional features of lymphoid tissue of Peyer's intestinal plaques in chickens. Problems of Zoo Engineering and Veterinary Medicine, 1(2), 35–38.; Коцюмбас І.Я., Жила М.І., П'ятничко О.М., Шкод-
дяк Н.В. Морфофункціональні особливості імунної системи птиці. Науково-технічний бюлетень Державного
науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології
тварин. 2019. Вип. 20(1). С. 255–262.

30 Коцюмбас І.Я., Жила М.І., П'ятничко О.М., Шкод-
дяк Н.В. Морфофункціональні особливості імунної системи птиці. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів
та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2019. Вип. 20(1). С. 255–262.

31 Kolomiets, I. A. (2010). Structural and functional features of lymphoid tissue of Peyer's intestinal plaques in chickens. Problems of Zoo Engineering and Veterinary Medicine, 1(2), 35–38.

32 Stoyanovsky, V. G. (2011). Probiotics and the immune system of the gastrointestinal tract of the bird. Modern Poultry Farming, 4, 21–25.

33 Khomych, B.T., & Mazurkevych, T.A. (2013). Rost i razvitie Peyerovoy blyashki dvenadtsatiperstnoy kishki u utok v vozraste ot odnih do 120 sutok [Growth and development of the duodenum Peyer's patch in one-day old to 120-day-old ducks]. Aktualnye Voprosy Veterinarnoy Meditsiny Sibiri. 1. P. 146–14951.

ВИСНОВКИ

Аналіз наукової літератури свідчить, що значного успіху, досягнули у вивченні структурної організації імунної системи в цілому, міжорганні та міжсистемні взаємовідносини, призвели до узагальнення знань про імунну систему слизових оболонок, які поєднують в собі лімфоїдні утворення травної, дихальної систем, сечовивідних шляхів, молочної залози та ін. Лімфоїдні структури асоційовані із слизовою оболонкою кишечника мають виключне значення в підтримці імунного гомеостазу організму людини і тварин. Дослідження лімфоїдних утворень трубкоподібних органів травної системи у продуктивних тварин небагаточисельні і не носять системного характеру. Як правило, увага дослідників більше направлена на з'ясування росту і розвитку шлунку і кишечника. Нам не вдалося знайти роботи, що містять повні відомості про топографічні та морфологічні особливості лімфоїдних утворень кишечника мускусних качок в період раннього постнатального онтогенезу, а також їх взаємозв'язок із структурними компонентами кишкової стінки.

Не дивлячись на виявлення лімфоїдних утворень СО трубкоподібних органів у ссавців та птиці ще в XVII столітті, до нашого часу немає єдиної думки про їх структурні особливості та вікові зміни. Найбільш детально досліджені тільки мигдалини у тварин і людини. Дещо більше робіт, які присвячені морфогенезу лімфоїдних утворень апендикса людини і лабораторних тварин. Зустрічаються роботи присвячені дослідженню клоакальної бурси і сліпих кишок птиці. Питання морфології лімфоїдних утворень асоційованих із СО передньої середньої і товстої кишок поодинокі, розрізнені та суперечливі. Особливу увагу привертає відсутність узагальнюючих робіт по виявленню закономірностей морфогенеза лімфоїдних утворень СО кишечника у водоплаваючої птиці. Також відсутня інформація про структурну організацію ПБ тонкої кишки та її відділів у мускусних качок. Більшість дослідників, які вивчають кишечник у ссавців і птиці, звертають увагу на функції структурних компонентів кишкової стінки у процесі травлення, ніж на зв'язок з лімфоїдними утвореннями.

Зустрічається велика кількість робіт присвячених дослідженню лімфоїдних утворень асоційованих із слизовими оболонками тонкої кишки людини і тварин а також клоакальною сумки у птиці. Однак дотепер

дослідники не приділяють належної уваги структурі лімфоїдних утворень кишечника у зв'язку з участю у формуванні місцевого імунітету.

Зазначимо, що клітинний рівень структурної організації лімфоїдних утворень асоційованих із СО трубкоподібних органів досліджені в недостатній мірі і свідчать про функціональну значимість лімфоцитів у формуванні як місцевого так і загального імунітету організму. Особливого функціонального значення для лімфоїдних утворень кишечника має взаємозв'язок лімфоцитів з клітинами епітелія, де складається специфічне мікрооточення для презентації і розпізнання антигенів що проникають в епітеліальний шар. Однак до нашого часу в науковій літературі відсутні відомості про роль інфільтрації лімфоцитами структурних компонентів СО в процесі формування ЛТ³⁴.

Поряд з цим аспекти морфофункціональних перетворень та морфогенезу периферичних лімфоїдних органів у птиці є менш дослідженими, особливо агреговані лімфоїдні утворення кишечника, а існуючі літературні дані в багатьох випадках є суперечливими. До сьогоденного дня відсутня єдина думка про характер тканинного і клітинного складу агрегованих лімфатичних вузликів тонкої кишки водоплаваючої птиці³⁵.

Відсутність основних відомостей стосовно принципів будови периферичних лімфоїдних органів у водоплаваючої птиці є стримуючим фактором для широкого застосування сучасних імуно- та цитохімічних методик для більш глибоких досліджень специфіки їх структурно-функціональної організації. Цей факт надасть особливого значення для морфологічного обґрунтування ефективності і доцільності використання технологій інтенсивної штучної антигенної стимуляції органів імунітету птиці, що найпростіше пов'язано з використанням різних схем вакцинації молодняка птиці в умовах промислового птахівництва.

Імунні структури кишечника в основному формуються з лімфоїдної тканини, яка проходить чотири послідовні рівні організаційного розвитку: дифузна лімфоїдна тканина (ДЛТ), передвузликова стадія, первинні лімфоїдні вузлики (ЛВЗ) і вторинні ЛВЗ.

34 Owen J. A., Punt J., Stranford S. A. Kuby immunology. New York: WH Freeman, 2013. 944 p.; Olivares-Villagómez D., Van Kaer L. Intestinal intraepithelial lymphocytes: sentinels of the mucosal barrier. Trends in Immunology. 2018. 39(4). P. 264–275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.it.2017.11.003>.

35 Khomych, B.T., & Mazurkevych, T.A. (2013). Rost i razvitie Peyerovoy blyashki dvenadtsatiperstnoy kishki u utok v vozraste ot odnih do 120 sutok [Growth and development of the duodenum Peyer's patch in one-day old to 120-day-old ducks]. Aktualnye Voprosy Veterinarnej Meditsiny Sibiri. 1. P. 146–14951.

Початковим етапом є формування скупчень лімфоїдних клітин, щільність яких нижча на периферії порівняно з центром, і які ще не мають чітких меж – це стадія дифузної або передвузликової організації.

Другий етап характеризується виникненням щільних округлих або овальних клітинних скупчень – лімфоїдних вузликів, що свідчить про готовність лімфоїдної тканини до імунної відповіді.

Третій етап – це поява гермінативних (світлих) центрів у вузликах, відомих також як «реактивні центри», які збільшуються під впливом антигенів.

На четвертому етапі спостерігається інволюція – зменшення та зникнення лімфоїдних вузликів з віком.

На нашу думку, структурно-функціональні зони Пейєрових бляшок тонкої кишки мускусних качок відповідають аналогічним утворенням у ссавців. Лімфоїдна тканина представлена ретикулярними клітинами, дрібними та середніми лімфоцитами, плазматичними клітинами і макрофагами.

Гістоархітектоніка ретикулярних волокон може варіювати. У деяких пейєрових бляшках волокна розташовані вздовж периферії лімфоїдних вузликів, утворюючи волокнисту облямівку у вигляді сітчастої капсули. За результатами наших досліджень, така облямівка з ретикулярних волокон або повністю охоплює вузлик, або переривається з боку, що прилягає до епітеліального шару кишечника. У межах однієї бляшки можуть одночасно зустрічатися як вузлики з ретикулярною облямівкою, так і без неї.

Імунні структури, що відповідають за специфічну імунологічну реактивність, інтенсивно формуються протягом перших тижнів і місяців життя. Цей процес відбувається поступово: він розпочинається з розвитку лімфоїдних структур слизової оболонки органів травної трубки та завершується формуванням лімфоїдних органів, розташованих у внутрішньому середовищі організму.

DOI: 10.51587/9798-9917-51926-2025-023-238-260

**MEDICAL-PSYCHOLOGICAL,
ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC
CONSEQUENCES OF THE
CHORNOBYL DISASTER**

**based on the materials of the scientific
and practical online conference
with international participation
April 25, 2025**



Economic sciences

ЖИВКО Зінаїда Богданівна,

доктор економічних наук, професор,
Українська державна льотна академія,
м. Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4045-669X

ПАНЧЕНКО Володимир Анатолійович,

доктор економічних наук, доктор державного
управління, професор,
Українська державна льотна академія,
м. Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4927-0330

СТАДНИК Мирослава Євгенівна,

кандидат економічних наук, доцент,
Львівський національний університет
природокористування, м. Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5383-5648

ЖИВКО Михайло Олександрович,

кандидат юридичних наук,
Науковий центр інноваційних досліджень,
Пюссі, Естонія,
ORCID ID: 0000-0002-0099-3562

РОДЧЕНКО Світлана Сергіївна,

кандидат економічних наук, доцент,
Харківського національного університету
міського господарства імені О. М. Бекетова,
м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0002-8611-2796

СИНЕРГІЯ УПРАВЛІННЯ БІЗНЕСОМ, ІТ-ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ: ВИКЛИКИ ТА НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Чорнобильська катастрофа 1986 року стала одним із наймасштабніших техногенних лих в історії людства, що спричинило значні соціально-економічні, екологічні та демографічні наслідки. Вплив цієї катастрофи відчувається і сьогодні, особливо в контексті сучасних викликів, таких як

цифрова трансформація та військові дії в Україні. У цьому дослідженні розглядається синергія між управлінням бізнесом, інформаційними технологіями та людськими ресурсами, яка може сприяти відновленню постраждалих територій та розвитку регіональної економіки.

Сучасні дослідження зосереджуються на питаннях впливу цифрових технологій на відновлення територій, постраждалих від екологічних катастроф. Богданович В.Ю. (2023) аналізує процеси цифрової трансформації та їх вплив на конкурентоспроможність України¹. Мельник О.Г. (2024) вивчає цифровізацію управління персоналом та зміну ринку праці в умовах технологічних змін². Семенченко М.М. (2024) досліджує роль штучного інтелекту у HR-менеджменті³. Березюк В.І. в роботі «Синергія інформаційних технологій та управління бізнесом: виклики та можливості для розвитку підприємств в Україні» дослідив концепцію синергії в управлінні бізнесом і IT-технологіями, акцент на інтеграцію сучасних інформаційних систем для підвищення ефективності управління після Чорнобильської катастрофи⁴.

Грек В.О. в праці «Вплив техногенних катастроф на розвиток регіонів: аналіз Чорнобильської катастрофи і шляхів відновлення через інформаційні технології» визначив економічних і соціальних наслідків Чорнобильської катастрофи, а також роль IT в відновленні підприємств і управлінні людськими ресурсами в посткризовий період⁵. Кузьмін А.В. в роботі «Інформаційні технології в управлінні підприємствами в посткатастрофічних умовах: досвід України» провів аналіз розвитку IT-інфраструктури в Україні після Чорнобильської катастрофи та її вплив на управлінські процеси в підприємствах, а також роль цих технологій у відновленні регіонів⁶. Шевченко Н.А. в праці «Управління людськими ресурсами в умовах техногенних катастроф: уроки Чорнобиля» дослідив

1 Богданович, В.Ю. (2023). Цифрова трансформація бізнесу в контексті цифрової конкурентоспроможності України. ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/publication/1234567890>

2 Мельник, О.Г., & Руда, М.В. (2024). Стратегічні аспекти цифрової трансформації бізнесу. Менеджмент та підприємництво в Україні, 45(3), 12-27. URL: <https://doi.org/10.5678/mpi.2024.03>

3 Семенченко, М.М. (2024). Перспективи використання штучного інтелекту в HR-менеджменті. [Prospects for using artificial intelligence in HR management]. Економіка та суспільство, 22(1), 34-47. URL: <https://doi.org/10.9876/es.2024.01>

4 Березюк, В.І. (2020). Синергія інформаційних технологій та управління бізнесом: виклики та можливості для розвитку підприємств в Україні. Вісник економічних наук України, 34(2), 45-56.

5 Грек, В.О. (2019). Вплив техногенних катастроф на розвиток регіонів: аналіз Чорнобильської катастрофи і шляхів відновлення через інформаційні технології. Журнал досліджень екології та управління ресурсами, 22(1), 72-85.

6 Кузьмін, А.В. (2018). Інформаційні технології в управлінні підприємствами в посткатастрофічних умовах: досвід України. Економіка та інформаційні технології, 15(3), 121-135. URL: <https://doi.org/10.1234/it.2018.12>

специфіку управління людськими ресурсами після Чорнобильської катастрофи, створення нових моделей для підтримки і мотивації персоналу в небезпечних умовах⁷.

Тимчук О.П. в роботі «Стратегічне управління бізнесом у посткризовий період: застосування ІТ-технологій для сталого розвитку регіонів» дослідив стратегій управління в умовах криз, спричинених Чорнобильською катастрофою, з акцентом на застосування інформаційних технологій для відновлення та розвитку⁸ [8]. Мельник І.В. у праці «ІТ-системи і управління бізнесом в екологічно постраждалих регіонах» розробив моделі управління підприємствами в постраждалих від Чорнобильської катастрофи регіонах з використанням ІТ-систем, що підвищують ефективність управлінських процесів⁹. Сидоренко Ю.О. в роботі «Роль людських ресурсів у відновленні регіонів, постраждалих від Чорнобильської катастрофи» оцінив важливість людського потенціалу для відновлення постраждалих територій і бізнесів після катастрофи, розробка стратегій для оптимального використання людських ресурсів¹⁰.

Черниш О.С. в праці «Інноваційні підходи до управління бізнесом у зонах техногенних катастроф: уроки Чорнобиля для сучасності» провів аналіз інноваційних підходів до управління підприємствами в умовах техногенних катастроф і ролі ІТ у розвитку цих підходів, враховуючи Чорнобильську катастрофу¹¹. Іванова Л.І. в роботі «Соціально-економічні наслідки Чорнобильської катастрофи для бізнесу та розвитку людських ресурсів в Україні» дослідив соціально-економічних наслідків Чорнобильської катастрофи для розвитку людських ресурсів та бізнесу, розробка рекомендацій щодо синергії між бізнес-управлінням і людськими ресурсами¹². Панасенко М.С. у праці «Управлінські рішення і технології в посткатастрофічних умовах: відновлення бізнесу через інноваційні

7 Шевченко, Н.А. (2021). Управління людськими ресурсами в умовах техногенних катастроф: уроки Чорнобиля. *Менеджмент та стратегія розвитку бізнесу*, 10(4), 64-78.

8 Тимчук, О.П. (2022). Стратегічне управління бізнесом у посткризовий період: застосування ІТ-технологій для сталого розвитку регіонів. *Журнал стратегічного менеджменту*, 18(1), 33-49. URL: <https://doi.org/10.5678/sm.2022.19>

9 Мельник, І.В. (2017). ІТ-системи і управління бізнесом в екологічно постраждалих регіонах. *Міжнародний журнал бізнес-інновацій*, 5(2), 91-103. URL: <https://doi.org/10.1111/innovation.2017.02>

10 Сидоренко, Ю.О. (2018). Роль людських ресурсів у відновленні регіонів, постраждалих від Чорнобильської катастрофи. *Журнал управління людськими ресурсами*, 8(3), 12-27.

11 Черниш, О.С. (2019). Інноваційні підходи до управління бізнесом у зонах техногенних катастроф: уроки Чорнобиля для сучасності. *Журнал інноваційного розвитку*, 16(1), 55-67.

12 Іванова, Л.І. (2020). Соціально-економічні наслідки Чорнобильської катастрофи для бізнесу та розвитку людських ресурсів в Україні. *Науковий вісник економіки та екології*, 28(2), 23-34.

ІТ-інструменти» розробив теоретичних і практичних аспектів застосування ІТ у прийнятті управлінських рішень в умовах посткатастрофічного періоду, зокрема після Чорнобильської катастрофи¹³.

Для досягнення поставленої мети використано комплексний підхід, що включає аналіз наукових джерел, статистичних даних та експертних оцінок. Методологія дослідження базується на використанні таких методів, як порівняльний аналіз, контент-аналіз, анкетування та моделювання сценаріїв цифрової трансформації бізнесу та управління людськими ресурсами.

Вплив Чорнобильської катастрофи на бізнес і ринок праці характеризується такими аспектами, як значна втрата трудового потенціалу через евакуацію населення; руйнування економічної інфраструктури та зниження інвестиційної привабливості регіону; збільшення соціальної нерівності та відтік кваліфікованих кадрів; падіння рівня доходів населення, що зменшує купівельну спроможність і впливає на розвиток малого та середнього бізнесу; втрата традиційних промислових кластерів і відсутність перспектив для їх відновлення; зростання рівня безробіття, що спричинило міграційні процеси та демографічний дисбаланс у країні; довгострокове скорочення обсягів виробництва через радіаційне забруднення сільськогосподарських і промислових зон.

Чорнобильська катастрофа 1986 року стала однією з найзначніших техногенних аварій у світі. Її вплив на різні галузі економіки України був багатограним і довготривалим. Проведемо порівняльний аналіз та контент-аналіз цього впливу на ключові сектори економіки (табл.1).

Як ми вже зазначали, Чорнобильська катастрофа мала глибокий і різноманітний вплив на економіку України, кожен сектор відчув різний ступінь впливу. Найбільше постраждало сільське господарство, яке не тільки зазнало зниження обсягів виробництва, але й втратило значну частину земель. Енергетичний сектор, хоч і поніс збитки через закриття ЧАЕС, адаптувався і модернізувався. Промисловий сектор зіткнувся з обмеженнями, але не зазнав таких великих втрат. Транспортний сектор, хоч і мав обмеження, швидше відновлював свою діяльність, а туризм значно знизився через закриття територій для відвідувачів.

13 Панасенко, М.С. (2018). Управлінські рішення і технології в посткатастрофічних умовах: відновлення бізнесу через інноваційні ІТ-інструменти. *Міжнародний журнал з управління та економіки*, 30(4), 45-59.

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз та контент-аналіз
впливу Чорнобильської катастрофи на різні галузі
економіки України**

Джерело: дослідження автора

№	Сутність аналізів за окремими галузями	
1	Сільське господарство	
	Порівняльний аналіз	Контент-аналіз
	До катастрофи сільське господарство було важливою частиною економіки України. Однак після аварії величезні території стали непридатними для сільськогосподарської діяльності через радіоактивне забруднення. Це призвело до значного скорочення виробництва сільськогосподарських культур, таких як зернові, овочі та молоко, в уражених районах.	Багато публікацій того часу вказують на зниження рівня врожайності в уражених районах. Після аварії значно зменшилися обсяги вирощування продуктів харчування, особливо в найближчих до Чорнобиля областях (Київська, Чернігівська, Житомирська)
	У порівнянні з іншими секторами, сільське господарство зазнало найбільшої втрати, оскільки забруднення не лише обмежило обробку землі, але й позначилося на екологічному стані води та повітря, що ускладнило виробництво.	
2	Енергетичний сектор	
	Порівняльний аналіз	Контент-аналіз
	Чорнобильська катастрофа мала безпосередній вплив на енергетичний сектор. Україна втратила один з найбільших енергетичних об'єктів – Чорнобильську АЕС, що змусило країну шукати нові джерела енергії. Водночас аварія сприяла посиленню уваги до безпеки на АЕС, що призвело до модернізації та змін в енергетичній політиці.	Публікації в ЗМІ та аналітичні звіти того часу вказують на значні витрати на закриття Чорнобильської АЕС і на підтримку безпеки на інших атомних електростанціях. Були також окремі прогнози щодо необхідності відмови від використання атомної енергетики на користь альтернативних джерел енергії
	У порівнянні з іншими галузями економіки, енергетичний сектор пережив тривалий період адаптації, оскільки для компенсації втрат на ЧАЕС було потрібно збільшити виробництво на інших АЕС	

Продовження табл. 1

3	Промисловий сектор	
	Порівняльний аналіз	Контент-аналіз
	Чорнобильська катастрофа мала серйозний вплив на промисловий сектор, хоча й не настільки прямий, як на сільське господарство. Забруднення вплинуло на роботу багатьох заводів, розташованих в аварійній зоні, а також обмежило роботу промислових підприємств, що використовували Чорнобильські ресурси Водночас у порівнянні з іншими галузями, деякі промислові підприємства, зокрема в машинобудуванні, змогли адаптуватися завдяки переходу до нових технологій	Статті в радянських та українських публікаціях зазначають, що частина підприємств в постраждалих від Чорнобиля районах вимушено припинила свою діяльність через високий рівень радіації, а інші були змушені змінювати технологічні процеси
4	Транспортний сектор	
	Порівняльний аналіз	Контент-аналіз
	Транспортний сектор зазнав серйозних змін через обмеження на переміщення населення та товарів у постраждалих районах. Було введено обмеження на транспортування деяких товарів (наприклад, продуктів харчування з високим рівнем радіації) В порівнянні з іншими секторами економіки, транспортний сектор відновлювався швидше, оскільки багато інфраструктурних об'єктів не зазнали безпосередніх ушкоджень	Інформація того часу акцентувала увагу на складнощах транспортування товарів у зоні відчуження і проблемах з логістикою в зонах, що потрапили під радіаційне забруднення
5	Туризм	
	Порівняльний аналіз	Контент-аналіз
	Чорнобильська катастрофа мала великий негативний вплив на туризм у постраждалих районах. Втрата привабливості цих територій і закриття їх для відвідування на багато років стали основними факторами спаду в цій галузі Порівняно з іншими сферами, туризм в Україні отримав суттєвий удар, оскільки було обмежено пересування не тільки громадян, а й туристів, включаючи зовнішніх	Статті після катастрофи часто згадували про падіння кількості туристів і зниження доходів від цієї галузі в Україні

Тематичний контент-аналіз допомагає виявити важливість кожної з галузей і рівень їхнього відновлення після катастрофи. Роль ІТ у відновленні економіки та управлінні людськими ресурсами: використання цифрових технологій для розвитку дистанційної роботи та навчання; запровадження штучного інтелекту для оптимізації управлінських процесів; автоматизація бізнес-процесів для підвищення продуктивності та ефективності підприємств.

Порівняльний та контент-аналіз ролі ІТ у відновленні економіки та управлінні людськими ресурсами в Україні. Чорнобильська катастрофа 1986 року стала однією з найсерйозніших техногенних катастроф в історії людства. Її наслідки відчувалися не лише в екологічному і соціальному контексті, а й мали глибокий вплив на економіку України. У той час як цифрові технології та ІТ-інфраструктура були на початкових етапах розвитку, в пострадянський період відбулося значне уповільнення в розвитку через кризу, спричинену аварією. ІТ в Україні розвивалися з великим запізненням, але через десятиліття, вже в новому тисячолітті, роль ІТ у відновленні економіки та управлінні людськими ресурсами стала критично важливою.

Використання цифрових технологій (ЦТ) для розвитку дистанційної роботи та навчання – до та після Чорнобильської катастрофи (табл. 2).

Таблиця 2

Використання цифрових технологій

Джерело: джерело автора

№	Використання ЦТ до аварії на ЧАЕС	Використання ЦТ після Чорнобильської катастрофи
1	Використання цифрових технологій для розвитку дистанційної роботи та навчання	
	До аварії на ЧАЕС	Після Чорнобильської катастрофи
	У 1986 році в Україні (як і в усьому СРСР) інформаційні технології лише починали розвиватися. В основному це були обчислювальні машини, використовувані на великих підприємствах і в науково-дослідних установах. Широке застосування комп'ютерів в адміністративному управлінні або для навчання не було поширеним явищем.	Чорнобильська аварія призвела до значного економічного спаду, особливо в тих районах, де радіаційне забруднення вплинуло на сільське господарство, промисловість і навіть інфраструктуру. Через відсутність необхідної інфраструктури для розвитку сучасних технологій Україна відставала від західних країн у використанні інформаційних технологій для управління.

Продовження табл. 2

	Дистанційна робота була практично неможлива, оскільки мережі зв'язку та цифрові технології перебували на початкових етапах розвитку, а більшість працівників була зосереджена на виробничих процесах.	
	Контент-аналіз	
	Пандемія COVID-19 стала поворотним моментом, коли українські підприємства та освітні установи були змушені швидко адаптуватися до нових реалій і використовувати цифрові технології для розвитку дистанційної роботи та навчання.	
	Відповідно до статистики 60 % українських компаній почали активно використовувати дистанційну роботу після пандемії, хоча до цього лише 15-20 % компаній мали досвід використання віддаленої роботи.	
2	Запровадження штучного інтелекту для оптимізації управлінських процесів	
	До аварії на ЧАЕС	Після Чорнобильської катастрофи
	У 1986 році технології штучного інтелекту в Україні були на дуже ранніх стадіях розвитку. Можливості для використання ШІ в управлінських процесах були обмежені і зосереджені на великих промислових комплексах або в наукових установах. У той час не було розвинених систем для автоматизації та управлінського обліку на рівні малих і середніх підприємств.	В Україні, як і в усьому СРСР, після аварії на ЧАЕС відбувся період економічної кризи, що сильно сповільнило розвиток новітніх технологій, зокрема в галузі інформаційних технологій.
		Штучний інтелект, як сучасна технологія, став доступним для українського бізнесу лише в 2000-х роках, коли почали з'являтися перші платформи для автоматизації управлінських процесів на основі аналізу даних і прийняття рішень за допомогою алгоритмів.
	Контент-аналіз	
	Станом на 2023 рік українські компанії активно застосовують ШІ для аналізу даних, оптимізації бізнес-процесів і управлінських рішень. Наприклад, 35 % українських компаній застосовують технології ШІ для стратегічного планування та аналізу даних.	
	Водночас, 30 % компаній використовують чат-боти та віртуальних помічників для автоматизації комунікацій з клієнтами, а також для внутрішніх потреб, таких як автоматизація HR-процесів.	

Продовження табл. 2

3	Автоматизація бізнес-процесів для підвищення продуктивності та ефективності підприємств	
	До аварії на ЧАЕС	Після Чорнобильської катастрофи
	До аварії на Чорнобильській АЕС в Україні було мало автоматизованих бізнес-процесів, оскільки підприємства переважно працювали з використанням традиційних методів управління та планування. Впровадження нових технологій на підприємствах здійснювалося переважно в радянських монополіях і великих державних підприємствах.	Відновлення економіки після Чорнобильської катастрофи вимагало серйозних змін в управлінні підприємствами та економікою загалом. Від 2000-х років інтерес до автоматизації процесів почав зростати, і вже в 2010-х роках українські підприємства активно впроваджували ERP-системи для автоматизації обліку, управління запасами, фінансами та іншими бізнес-процесами.
	Чорнобильська катастрофа, як і економічні проблеми, що настали після неї, значно уповільнили інвестиції в новітні технології, включаючи автоматизацію процесів.	Чорнобильська катастрофа, як і економічні проблеми, що настали після неї, значно уповільнили інвестиції в новітні технології, включаючи автоматизацію процесів.
	Контент-аналіз	
	Згідно з даними Gartner, автоматизація бізнес-процесів в Україні зросла на 22 % в 2020 році порівняно з 2019 роком.	
	30 % підприємств в Україні вже використовують CRM-системи для автоматизації маркетингових кампаній та покращення взаємодії з клієнтами, а також для внутрішніх бізнес-процесів, таких як підбір персоналу і обробка замовлень.	

Статистичні дані наведемо за такими ознаками, як дистанційна робота (1), штучний інтелект (2), автоматизація бізнес-процесів (3).

Дистанційна робота (1) – до пандемії, 15-20 % компаній в Україні використовували дистанційну роботу. Після 2020 року цей показник зріс до 60 %. 80 % студентів брали участь в онлайн-освіті під час пандемії, а 47 % шкіл були готові до такої форми навчання до початку карантину.

Штучний інтелект (2) – 35 % українських компаній використовують ІІІ для управлінських та аналітичних цілей. 30 % компаній активно впроваджують чат-ботів для автоматизації взаємодії з клієнтами.

Автоматизація бізнес-процесів (3) – 22 % зростання автоматизації в Україні у 2020 році порівняно з 2019 роком. 30 % українських компаній впровадили CRM-системи для автоматизації процесів.

Чорнобильська катастрофа призвела до значних економічних та соціальних змін в Україні, і лише через десятиліття після цієї події країна почала активно розвивати та інтегрувати цифрові технології для відновлення економіки. Пандемія COVID-19 стала каталізатором для переходу до цифрових технологій у багатьох сферах економіки. Сьогодні ІТ займають ключову роль у розвитку дистанційної роботи, управлінських процесів, автоматизації бізнес-процесів і підвищенні ефективності підприємств, а також сприяють покращенню взаємодії між компаніями та їхніми клієнтами.

Сучасні виклики та перспективи розвитку регіону: окупація частини зони відчуження та загроза нових техногенних катастроф; зниження інвестицій у відновлення регіонів через економічну нестабільність; необхідність залучення міжнародної фінансової підтримки та розробки стратегічних програм сталого розвитку. Чорнобильська катастрофа 1986 року створила серйозні економічні, соціальні та екологічні проблеми, зокрема для прилеглих до зони відчуження територій. Після катастрофи регіон залишався закритим і став одним із найбільш забруднених місць на планеті, що значно ускладнило відновлення і розвиток цієї території. Проте, навіть після десятиліть від катастрофи, зона відчуження та прилеглі регіони залишаються важливими як з екологічного, так і з економічного погляду.

Сьогодні для цих регіонів існують кілька серйозних викликів, а також є певні перспективи розвитку, якщо ці виклики будуть ефективно подолані.

1. Окупація частини зони відчуження та загроза нових техногенних катастроф. З початку війни в Україні та російською окупацією частини територій, що належать до зони відчуження, виникла нова загроза для цієї екологічно небезпечної території. Окупація території зони відчуження викликає серйозні проблеми: невідомі наслідки для навколишнього середовища; порушення управління відходами; загроза для людського здоров'я.

- *Невідомі наслідки для навколишнього середовища* – внаслідок окупації частини зони відчуження, існує загроза порушення екологічної стабільності, адже на цих територіях містяться значні запаси радіоактивних матеріалів. Їх непрофесійне або навмисне розкра-

дання може призвести до ще більшого забруднення навколишнього середовища.

- *Порушення управління відходами* – військові конфлікти на цих територіях ускладнюють контроль за станом радіоактивних відходів, що може призвести до витоку або перевезення радіоактивних матеріалів. Це може підвищити ризик техногенних катастроф як локального, так і глобального масштабу.
- *Загроза для людського здоров'я* – окупація регіону підвищує ризики для людей, які працюють в зоні відчуження чи навколишніх районах, оскільки відсутність належного контролю за радіаційною ситуацією створює загрозу для здоров'я населення.

Перспективи відновлення контролю над цією територією та розробка міжнародних механізмів для стабілізації екологічної ситуації можуть забезпечити шлях до пом'якшення загроз, що виникли. Проте для цього потрібна буде значна міжнародна підтримка, фінансування та координація зусиль.

2. Зниження інвестицій у відновлення регіонів через економічну нестабільність містить виклики – економічна нестабільність, яку спричинили війна, зниження рівня державних фінансів та інші внутрішні проблеми України, сильно обмежує можливості для відновлення зони відчуження і прилеглих територій.

- *Зниження інвестицій* – війна та економічна нестабільність призвели до значного скорочення інвестицій як внутрішніх, так і зовнішніх у різні регіони України, включаючи зону відчуження. Без інвестицій неможливо буде здійснювати важливі проекти з відновлення інфраструктури, енергозабезпечення, екологічного моніторингу і навіть розвиток альтернативних джерел енергії.
- *Невизначеність майбутнього* – міжнародні компанії та інвестори часто уникають вкладати кошти в регіони, що мають високі ризики. В умовах постійних військових загроз і нестабільної ситуації економіка зони відчуження стає менш привабливою для капіталовкладень.

Перспективи – існує можливість для відновлення інвестицій через залучення міжнародної фінансової підтримки, проте для цього необхідна стабільність і розробка чіткої стратегії, яка гарантує безпеку інвестицій.

Потенційно, є можливість розвитку нових індустрій, таких як екотуризм, відновлювальна енергетика, науково-дослідницькі проекти щодо радіоактивних відходів та відновлення екосистем.

3. Необхідність залучення міжнародної фінансової підтримки та розробки стратегічних програм сталого розвитку. Виклики – для ефективного вирішення проблем регіонів, постраждалих від Чорнобильської катастрофи, Україна потребує міжнародної фінансової підтримки.

- *Міжнародна допомога.* Україна потребує не тільки інвестицій для відновлення інфраструктури, а й коштів для проведення екологічних досліджень, розробки нових технологій для ліквідації наслідків забруднення, а також для створення ефективних екологічних проектів.
- *Інвестиції в екологічну безпеку.* Одним із основних напрямків є залучення міжнародних фінансових ресурсів для відновлення екології в зоні відчуження, в тому числі для виведення радіоактивних відходів та створення об'єктів, які забезпечать їх безпечне зберігання.

Перспективи – програми сталого розвитку (1). Окремі міжнародні організації, такі як ООН, МАГАТЕ, Європейський Союз та інші, можуть стати важливими партнерами для розробки стратегічних програм сталого розвитку цих регіонів. Вони можуть включати не тільки екологічні, а й економічні та соціальні програми, спрямовані на відновлення цих територій.

Екотуризм та науково-дослідницька діяльність (2). Одним з перспективних напрямів розвитку для зони відчуження є екотуризм. Попри радіоактивні загрози, територія зони має високий науковий і культурний інтерес. Інвестування в цей сектор може забезпечити не лише економічну вигоду, а й сприяти дослідженню та моніторингу навколишнього середовища.

Залучення міжнародної експертизи (3). Україні важливо залучити міжнародних експертів для розробки інфраструктурних проектів та для визначення ефективних способів обробки відходів, безпечного відновлення навколишнього середовища та зменшення техногенних загроз.

Регіони, постраждалі від Чорнобильської катастрофи, стикаються з численними викликами, серед яких окупація частини зони відчуження,

економічна нестабільність, і необхідність залучення міжнародної фінансової підтримки. Проте ці регіони мають і перспективи для сталого розвитку, зокрема через міжнародну підтримку, стратегічне планування та розробку інноваційних технологій, таких як екологічні проекти, екотуризм і відновлювана енергетика. Для того, щоб подолати сучасні виклики та забезпечити відновлення цих територій, Україні необхідно активно співпрацювати з міжнародними організаціями та залучати фінансування для сталого розвитку.

ВИСНОВКИ.

Чорнобильська катастрофа спричинила значні довгострокові наслідки для економіки, екології та соціальної сфери України. Проте використання сучасних інформаційних технологій та ефективне управління людськими ресурсами можуть сприяти сталому розвитку постраждалих регіонів. Інтеграція ІТ-рішень у бізнес-процеси, автоматизація HR-менеджменту та цифровізація економіки дозволять створити умови для інноваційного розвитку та економічної стабільності.



АНДРУСИШИНА Ірина Миколаївна,

доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник,
ДУ «Інститут медицини праці
імені Ю.І. Кундієва НАМН України»,
ORCID ID: 0000-0001-5827-3384

ЛАМПЕКА Олена Григорівна,

науковий співробітник,
ДУ «Інститут медицини праці
імені Ю.І. Кундієва НАМН України»,
ORCID ID: 0009-0004-9664-3891

ГОЛУБ Інна Олександрівна,

науковий співробітник,
ДУ «Інститут медицини праці
імені Ю.І. Кундієва НАМН України»,
ORCID ID: 0009-0001-8774-2845

ДМИТРУХА Наталія Миколаївна,

Доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник,
ДУ «Інститут медицини праці
імені Ю.І. Кундієва НАМН України»,
ORCID ID: 0000-0001-9161-3889

МОВЧАН Валентина Олександрівна,

науковий співробітник,
ДУ «Інститут медицини праці
імені Ю.І. Кундієва НАМН України»,
ORCID ID: 0000-0002-6712-7976
Київ, Україна

МЕДИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДІЇ СВИНЦЮ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ТА СТАН ДОВКІЛЛЯ В РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ В УКРАЇНІ

Проблема забруднення довкілля свинцем та його сполуками залишається однією з актуальних екологічних проблем минулого та майбутнього століть. Протягом останнього століття спостерігається неухильне

зростання його використання у промисловості, транспорті, побуті; нераціональне використання природних ресурсів, урбанізація життя суспільства, що призвело до перевищення у сотні і тисячі разів фонових концентрацій свинцю.¹ Наслідки аварії на ЧАЕС 26 квітня 1986 року призвели до забруднення не тільки радіонуклідами та важкими металами (і свинцем, зокрема) атмосферного повітря, сільськогосподарських угідь ряду областей України та вплинули на здоров'я населення в Україні.² Викиди металів у навколишнє середовище під час військових дій відбуваються від залишків зброї, що містять високі рівні металовмісних частинок і, зокрема, свинцю подовжують перелік сфер впливу на довкілля та здоров'я людини через війну в Україні.³

Незважаючи на те, що патогенез, клінічні прояви інтоксикації свинцем, яка відома ще з часів давнини, досить добре вивчені, інтерес до цієї проблеми не зменшується. Обговорюється можливість несприятливих наслідків впливу не тільки великих, а й відносно малих концентрацій свинцю. Маючи політропний токсичний вплив на організм, свинець призводить до змін у нервовій, серцево-судинній, сечостатевої системах, опорно-руховому апарату, кровотворній функції, імунитеті, знижує інтелект, сприяє канцерогенному ефекту, особливостей впливу на дитячий організм та ін. Свинець є одним з найнебезпечніших забруднювачів навколишнього середовища – його віднесено до токсичних речовин I класу небезпеки.

В організм людини більшість свинцю надходить з продуктами харчування (від 15 до 40 % у різних країнах і за різними віковими групами), з питною водою (до 10 %), атмосферним повітрям (до 75 %) та при курінні (1–2 %). При цьому аерогенний шлях надходження за умов високого вмісту свинцю у повітрі є дуже ефективним у сенсі надходження в кров.⁴

1 Трахтенберг І.М., Андрусишина І.М., Дмитруха Н.М. та ін. Свинець у біологічних середовищах різних груп населення України як еколого-гігієнічна проблема. *Наука і практика*. 2016. № 1-2 (7-8). С.16-25.

2 Кравченко В.І., Лузанчук І.А., Андрусишина І.М., Тронько М.Д. Макро-та мікроелементне забезпечення населення постраждалих після аварії на Чорнобильській АЕС територіях України. *Радіологічні та медичні наслідки Чорнобильської катастрофи – тридцять років потому*: матеріали міжнародної наукової конференції, Україна, Київ, 18-19 квітня 2016 р. Київ, 2016. С.225.

3 Андрусишина І.М., Голуб І.О., Лампека О.Г., Барикін Н.А., Пивовар Т.М., Цапко В.Г. До проблеми забруднення довкілля токсичними металами з відходів зброї: ризики для здоров'я людини (огляд літератури). *Актуальні питання транспортної медицини*. 2022. № 2 (68). С. 27-38. <https://doi.org/zenodo.org/record/6814950>.

4 Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О. Результати біомоніторингу експозиції токсичними металами працюючих на виробництві в Україні в 2002-2022 роках. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2023. № 1. С. 26-35. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.01.026>.

У рекомендаціях експертів ВООЗ за критеріями якості навколишнього середовища, у зв'язку зі зростаючим токсичним навантаженням на організм людини, рекомендується проводити біомоніторинг з визначення вмісту свинцю в біосередовищах, визнаним є кінетичний індикатор як то визначення свинцю у цільній крові.^{5,6}

В той же час дані літературі демонструють значні коливання вмісту свинцю у цільній крові, сечі та волоссі, що є наслідком використання великої кількості інструментальних методів та відповідних до них різних методик підготовки проб. Також великі розбіжності регламентованих значень свинцю у біологічних середовищах можуть бути наслідком як індивідуальних особливостей людини (вік, стать, харчування, шкідливі звички), так і біогеохімічних особливостей проживання населення.

Останніми роками спостерігається тенденція до перегляду референтних меж визначення вмісту свинцю у біологічних середовищах і в першу чергу у цільній крові. Наприклад CDC (центр по контролю за неінфекційними захворюваннями у США) переглядає ці величини кожні 4 роки, при цьому особлива увага приділяється рівням вмісту свинцю у крові дітей через високий вплив цього токсичного металу на інтелект, поведінку та нервову систему організму що росте.⁷

У ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І.Кундієва НАМН України» більше 30 років проводяться дослідження з вивчення вмісту важких металів (вмісту свинцю, зокрема) у різних біологічних середовищах людини для встановлення виробничого або екологічно обумовленого характеру впливу на людину.

Мета дослідження- дати аналіз власних біомоніторингових досліджень щодо накопичення свинцю в організмі людини за умов екологічної та професійної експозиції металом в динаміці 1992-2024 рр.

Матеріали та методи дослідження. Результати багаторічного біологічного моніторингу як професійних контингентів (зварювальники, акумуляторники, механізатори, лісоруби, водії, видувальники скла, шахтарі, всього більше 2040 осіб віком 17-67 років) та населення різних регіонів України (468 осіб віком 20-62 роки) , а останнім часом і військові.

5 Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О., Лубянова І.П., Харченко Т.Д. Методичні рекомендації 72.14/133.14 «Оцінка порушень мінерального обміну у професійних контингентів за допомогою методу атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою». Київ: Авіцена, 2014. 60 с.

6 Heitland P., Köster H.D. Human biomonitoring of 73 elements in blood, serum, erythrocytes and urine. *J Trace Elem Med Biol.* 2021. Vol. 64. P. 126706. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126706>.

Вміст свинцю у цільній крові визначали за допомогою методів атомно-абсорбційної спектрометрії у полумєневому та електротермічному варіантах на приладі AAC 5100 Z PC та багатоелементного методу аналізу – атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (АЕС-ІЗП) на приладі «Optima 2100 DV» фірми PerkinElmer (США).⁷

Результати та їх обговорення. Під час оцінки впливу свинцю на здоров'я людини широко застосовуються методи біомоніторингу, які дозволяють оцінити накопичення важких металів у біосубстратах різних верств населення та зіставити отримані данні з рекомендованими ВООЗ прийнятими біологічно допустимими рівнями та переглянути їх.

Наслідки аварії на ЧАЕС призвели до забруднення радіонуклідами та важкими металами, яке мало тривалий вплив на довкілля. Працівники зони відчуження це переважно працівники лісового господарства та ліквідатори наслідків аварії на ЧАЕС. У 1992-1993 рр було проведено дослідження по вивченню вмісту свинцю та кадмію у крові 425 працівників. Отримані результати показали що вміст свинцю у крові коливався в межах 0,08-1,12 мг/л. Встановлено, зростання захворюваності цих працівників до 34,9 % випадків на 100 працівників при рівні свинцю у крові більше 0,4 мг/л (дані про захворюваність склали 24,6 % жінок та 11,6 % у чоловіків).⁸

У механізаторів Бориспільського району (41 чол) у 1995 р. було виявлено значне перевищення вмісту свинцю у цільній крові (вміст від 0,65 до 0,88 мг/л), яке було обумовлено використанням у якості ґрунту мулу з р.Дніпро після аварії на ЧАЕС. Вміст свинцю у кабіні тракторів перевищував ГДК в 2-6 разів.⁹

Професійний контакт зі свинцем показав, що у визначенні інформативності того чи іншого біологічного середовища має значення тривалість та характер впливу. За період 1993- 2003 рр. було обстежено 1034 особи, у тому числі 691 з підозрою на свинцеву інтоксикацію. Переважна більшість обстежених піддавалася впливу свинцю, вміст якого у повітрі робочої зони перевищував допустиму концентрацію (0,01 мг/м³) більше ніж у 100 разів.

7 Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О., Лубянова І.П., Харченко Т.Д. Методичні рекомендації 72.14/133.14 «Оцінка порушень мінерального обміну у професійних контингентів за допомогою методу атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою». Київ: Авіцена, 2014. 60 с.

8 Dobrovolsky L., Vitte P., Belashova I., Andrusishina I. Blood lead monitoring studies in Chernobyl region in 1992. *Trace element in man and animal "ТЕМА-8"*: abstr Symp., Dresden: Friedrich-Schiller University, 1993. P. 868-869.

9 Трахтенберг І.М., Андрусишина І.М., Дмитруха Н.М. та ін. Сvineць у біологічних середовищах різних груп населення України як еколого-гігієнічна проблема. *Наука і практика*. 2016. № 1-2 (7-8). С.16-25.

Так, було показано, що тривалий контакт зі свинцем на виробництві (більше 5 років) призводив до накопичення свинцю у крові обстежених осіб (через 5 років – $0,49 \pm 0,08$ мг/л, через 10 років $0,53 \pm 0,05$ мг/л, через 20 років – $0,58 \pm 0,07$ мг/л). У постекспозиційний період вміст свинцю у цільній крові продовжував залишатись на рівні більшому ($0,41 \pm 0,09$ мг/л) від його вмісту в осіб контрольної групи ($0,30 \pm 0,02$ мг/л).¹⁰ Ці дані підтверджують, що тривале накопичення свинцю стабільним пулом організму (кісткова тканина) має певний час його вивільнення навіть у той час, коли контакт з полутантом не відбувається. Доказом такого навантаження є і стійкі зміни біохімічних маркерів, як то поява базофільної зернистості (за звичай після 5 років контакту), високий вміст заліза у сироватці крові. Зміни балансу кальцію та магнію у сироватці крові (та їх іонізованих форм) та цинк-протопорфірину, зростання δ -амінолевулінової кислоти.¹¹

В подальших дослідженнях було виявлено зниження рівня популяційної та виробничої експозиції (період 2012-2017 рр). Отримані результати аналізу наведено у таблиці 1 та на рисунку 1. З'ясувалось, що з часом спостерігається зниження референтних величин вмісту свинцю у цільній крові (з $0,2$ - $0,4$ мг/л у 1990 роках до $0,05$ - $0,12$ мг/л у 2020 роках), які ряд експертів (як наприклад, СДС) приймають як небезпечні для населення. Останнім часом для дорослих людей у США референтні значення для свинцю становлять $0,03$ - $0,07$ мг/л і цей показник рекомендують і експерти ВООЗ та ЄС.¹²

Слід відмітити, що отримані дані вмісту свинцю у населення в період 2020-2024 рр відображають ступінь екологічного навантаження металом (так званий «фон»), який становить $0,05$ - $0,10$ мг/л, сьогодні виявляється допустимі рівні вмісту які становлять $0,11$ - $0,20$ мг/л (що характеризує

10 Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О. Результати біомоніторингу експозиції токсичними металами працюючих на виробництві в Україні в 2002-2022 роках. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2023. № 1. С. 26-35. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.01.026>.

11 Кравченко В.І., Лузанчук І.А., Андрусишина І.М., Тронько М.Д. Макро-та мікроелементне забезпечення населення постраждалих після аварії на Чорнобильській АЕС територіях України. *Радіологічні та медичні наслідки Чорнобильської катастрофи – тридцять років потому: матеріали міжнародної наукової конференції*, Україна, Київ, 18-19 квітня 2016 р. Київ, 2016. С.225; Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О. Результати біомоніторингу експозиції токсичними металами працюючих на виробництві в Україні в 2002-2022 роках. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2023. № 1. С. 26-35. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.01.026>; Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О., Лубянова І.П., Харченко Т.Д. Методичні рекомендації 72.14/133.14 «Оцінка порушень мінерального обміну у професійних контингентів за допомогою методу атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою». Київ: Авіцена, 2014. 60 с.

12 Centers for disease Control and Prevention National Biomonitoring. Program CDC 2011. URL: www.cdc.gov/biomonitoring.

стан здоров'я, як «носієство металу» і виявляється під час професійної експозиції або за умови паління та вживання їжі з високим вмістом свинцю) та виявляються випадки, коли вміст свинцю у крові становить більше 0,21 мг/л (виявлено у працівників тиру та військових під час реабілітації в клініці інституту). Виявлені коливання вмісту свинцю дають можливість використовувати рівні 0,05-0,10 мг/л, як референтні значення для постійного контролю під час клінічної діагностики.

Таблиця 1

**Вміст свинцю у крові осіб контрольної та дослідної групи
(період 2012-2019)**

Професії	Концентрація	Кількість обстежених
Контрольна група	0,10±0,012	336
зварники	0,29±0,023	26
акумуляторники	0,67±0,040	25
ювеліри	0,12±0,020	11
водії	0,13±0,040	11
шахтарі	0,16±0,050	21

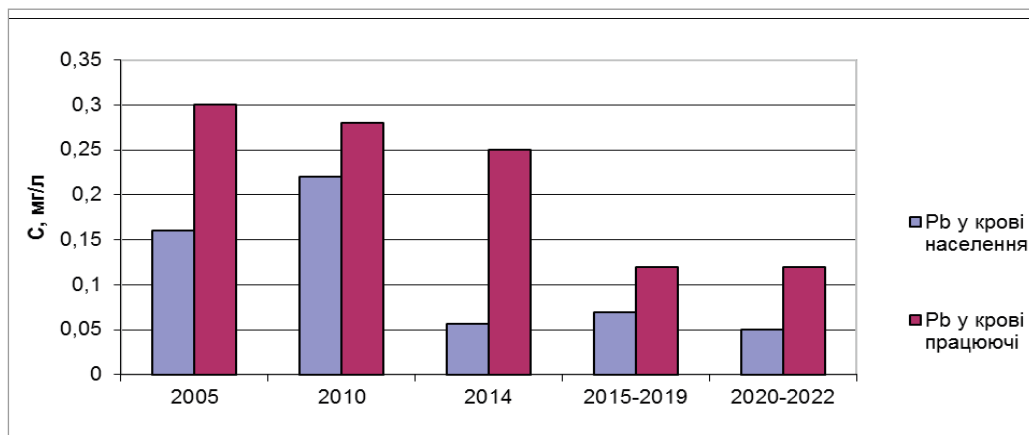


Рис. 1. Порівняльна оцінка власних результатів визначення вмісту свинцю у цільній крові населення та працюючих.

Висновки. Таким чином, медико-екологічні аспекти дії свинцю на здоров'я населення в Україні та вплив його на довкілля продовжує бути у полі уваги через можливі наслідки експозиції та ризики забруднення

через військові дії та можливості масштабної аварії на інших атомних станціях. Розуміння патогенезу наслідків несприятливого впливу свинцю на організм дозволяє пояснити механізм ефектів малих доз, канцерогенного, атерогенного ризику та розробляти ефективні лікувально-профілактичні методи.

БІЛЯЄВА Ольга Олександрівна,

доктор медичних наук, професор,
кафедра хірургії та трансплантології
Національного університету охорони здоров'я України
імені П.Л. Шупика, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-2862-0423

ОСАДЧА Оксана Іванівна,

кандидат біологічних наук,
доцент кафедри спортивної медицини
Національного університету фізичного виховання і спорту
України, Київ, Україна.
ORCID ID: 0000-0001-5883-425

БІТІНЬШ Андрій Русланович,

аспірант кафедри хірургії та трансплантології
Національного університету охорони здоров'я України
імені П.Л. Шупика, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-3867-5524

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ В КОМПЛЕКСНОМУ ЛІКУВАННІ ПАЦІЄНТІВ З НЕЙРОІШЕМІЧНОЮ ФОРМОЮ СИНДРОМУ ДІАБЕТИЧНОЇ СТОПИ

Цукровий діабет (ЦД) – це розповсюджене мультисистемне захворювання, що супроводжується численними можливими ускладненнями та має значний соціально-економічний вплив. Попри всі зусилля, стримати поширення цієї пандемії протягом останніх років не вдається¹. Згідно з прогнозами Міжнародної діабетичної федерації, до

1 Ляховський В. І., Краснов О. Г., Люлька О. М., Немченко І. І., Кизименко О. О. Особливості перебігу та місцевого лікування гнійно-некротичного ураження при синдромі діабетичної стопи // Клінічна хірургія. – 2017. – № 8. – С. 45–50.

2030 року кількість людей, які страждають на цукровий діабет, зросте до 552 мільйонів. Для порівняння: у 1980 році цей показник становив лише 108 мільйонів. За оцінками ВООЗ, до 2030 року кожна сьома смерть буде пов'язана з ускладненнями, спричиненими цукровим діабетом. Темпи зростання захворюваності варіюють у різних країнах, у середньому становлячи від 2,2 % до 6,1 %. Дослідження деяких авторів вказують на наявність зв'язку між рівнем доходу населення та поширеністю діабету: у державах із середнім і високим рівнем доходу захворюваність значно вища. Наприклад, у Японії понад 10 % населення мають діабет, а в Україні цей показник досягає 9,1 %².

Одним із найнебезпечніших ускладнень цукрового діабету є синдром діабетичної стопи (СДС), поширеність якого серед пацієнтів із хронічною гіперглікемією коливається від 30 % до 80 % залежно від віку³. Згідно з поглядами ряду дослідників, до СДС відносять усі гнійно-деструктивні ураження нижніх кінцівок. Цей синдром є основною причиною ранньої інвалідизації пацієнтів. Близько 85 % усіх нетравматичних ампутацій пов'язано саме з цією патологією⁴. Наприклад, у США щороку проводиться понад 82 000 ампутацій кінцівок, спричинених діабетом. Серед клінічних проявів СДС особливе місце займають трофічні виразки, які становлять до 85 % усіх уражень стоп. Їх поширеність у різних популяціях варіює в межах від 2 % до 43 %. Хоча більшість таких виразок піддаються загоєнню, 10–15 % залишаються хронічними, а у 5–24 % випадків впродовж 6–18 місяців після їх виникнення настає ампутація. У близько 15 % пацієнтів із СДС розвиваються тяжкі інфекційні ускладнення, такі як остеомієліт, абсцеси, флегмони, тендовагініти, гнійні артрити тощо, які можуть виникати самостійно або як наслідок інфікування трофічної виразки⁵.

2 Кизименко О. О., Городова-Андреева Т. В., Ляховський В. І. Сучасні підходи до лікування хворих з гнійно-некротичними ураженнями синдрому діабетичної стопи // Світ медицини та біології. – 2018. – № 2. – С. 209–213.

3 Там само.

4 Кизименко О. О., Городова-Андреева Т. В., Ляховський В. І. Сучасні підходи до лікування хворих з гнійно-некротичними ураженнями синдрому діабетичної стопи // Світ медицини та біології. – 2018. – № 2. – С. 209–213; Русин В. І., Корсак В. В., Носенко О. А. Вакуум-терапія в комплексному лікуванні нейроішемічної форми синдрому діабетичної стопи // Здоров'я України. Серія: Діабетологія. Тиреоїдологія. Метаболічні розлади. – 2015. – № 2. – С. 34–35; Біляєва О. О., Осадча О. І., Крижевський Є. Є., Бітіньш А. Р. Обґрунтування застосування антиоксидантної терапії в комплексному консервативному лікуванні синдрому діабетичної стопи // Український медичний часопис. – 2022. – № 1–2 (106–107). – С. 13–17.

5 Кизименко О. О., Городова-Андреева Т. В., Ляховський В. І. Сучасні підходи до лікування хворих з гнійно-некротичними ураженнями синдрому діабетичної стопи // Світ медицини та біології. – 2018. – № 2. – С. 209–213.

Ключовим етапом, вплив на який може зменшити кількість ампутацій при цукровому діабеті, є початкова фаза ранового процесу, що, як правило, суттєво затягується. Відсутність переходу до другої фази загоєння в кінцевому підсумку часто стає причиною необхідності ампутації⁶.

Антибактеріальна терапія ран, інфікованих полімікробною флорою, часто ускладнюється через формування біоплівки та високу антибіотикорезистентність збудників⁷. Тривале застосування антибіотиків не завжди є ефективним, особливо у пацієнтів з цукровим діабетом, у яких така терапія може бути небезпечною через наявність ускладнень, як-от діабетична нефропатія або печінкова дисфункція.

У зв'язку з цим фаготерапія розглядається як потенційна альтернатива антибіотикам або додатковий метод лікування інфікованих трофічних виразок. На сьогодні існує ряд клінічних досліджень, які підтверджують ефективність і безпечність використання бактеріофагів при терапії таких уражень у людей⁸. Зокрема, у великому дослідженні за участю 96 пацієнтів було продемонстровано позитивний вплив PhagoBioDerm – біодеградуєчої пов'язки, насиченої фаговим коктейлем Ruorophage, – на загоєння венозних виразок нижніх кінцівок⁹. Такий матеріал, що поступово розкладається й забезпечує пролонговане вивільнення активних компонентів, зокрема фагів, дозволяє скоротити кількість перев'язок і

6 Василюк С. М., Василюк М. Д., Шевчук А. Г., Попович Я. О. Етіологія та патогенез інфікованих виразок у хворих на синдром діабетичної стопи // Український журнал хірургії. – 2008. – № 1. – С. 94–99; Кизименко О. О., Краснов О. Г., Ляховський В. І. Комбіноване місцеве лікування гнійно-некротичних уражень синдрому діабетичної стопи // Сучасні медичні технології. – 2018. – № 1. – С. 23–28.

7 Malik A., Mohammad Z., Ahmad J. The diabetic foot infections: biofilms and antimicrobial resistance // *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. – 2013. – Vol. 7. – P. 101–107. doi: 10.1016/j.dsx.2013.02.006 (in English); Rahim K., Qasim M., Rahman H., Khan T. A., Ahmad I., Khan N., et al. Antimicrobial resistance among aerobic biofilm producing bacteria isolated from chronic wounds in the tertiary care hospitals of Peshawar, Pakistan // *Journal of Wound Care*. – 2016. – Vol. 25, No. 8. – P. 480–486. doi: 10.12968/jowc.2016.25.8.480 (in English); Di Domenico E. G., Farulla I., Prignano G., Gallo M. T., Vespaziani M., Cavallo I., et al. Biofilm is a major virulence determinant in bacterial colonization of chronic skin ulcers independently from the multidrug resistant phenotype // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2017. – Vol. 18. – Article No. E1077. doi: 10.3390/ijms18051077 (in English).

8 Markoishvili K., Tsitlanadze G., Katsarava R., Morris J. G., Sulakvelidze A. A novel sustained-release matrix based on biodegradable poly(ester amide)s and impregnated with bacteriophages and an antibiotic shows promise in management of infected venous stasis ulcers and other poorly healing wounds // *International Journal of Dermatology*. – 2002. – Vol. 41. – P. 453–458. doi: 10.1046/j.1365-4362.2002.01451.x (in English); Rhoads D. D., Wolcott R. D., Kuskowski M. A., Wolcott B. M., Ward L. S., Sulakvelidze A. Bacteriophage therapy of venous leg ulcers in humans: results of a phase I safety trial // *Journal of Wound Care*. – 2009. – Vol. 18, No. 6. – P. 240–243. doi: 10.12968/jowc.2009.18.6.42801 (in English); Fish R., Kutter E., Wheat G., Blasdel B., Kutateladze M., Kuhl S. Bacteriophage treatment of intransigent diabetic toe ulcers: a case series // *Journal of Wound Care*. – 2016. – Vol. 25, Suppl. 7. – P. S27–S33. doi: 10.12968/jowc.2016.25.7.S27 (in English).

9 Markoishvili K., Tsitlanadze G., Katsarava R., Morris J. G., Sulakvelidze A. A novel sustained-release matrix based on biodegradable poly(ester amide)s and impregnated with bacteriophages and an antibiotic shows promise in management of infected venous stasis ulcers and other poorly healing wounds // *International Journal of Dermatology*. – 2002. – Vol. 41. – P. 453–458. doi: 10.1046/j.1365-4362.2002.01451.x (in English).

мінімізувати травмування тканин, що робить його перспективним як для лікування, так і для профілактики мікробного ураження ран¹⁰.

Таким чином, фаготерапія постає як перспективний напрям, що потребує подальших досліджень з оцінкою імунних реакцій локально в зоні ураження.

У 2024 році на базі відділення гнійної хірургії КНП «Київська міська клінічна лікарня №6» проходили стаціонарне лікування 109 пацієнтів із синдромом діабетичної стопи (СДС). У дослідження включили 15 хворих із нейроішемічною формою синдрому діабетичної стоп у яких використовувався полівалентний бактеріофаг – Піофаг (1 мл препарату містить специфічні бактеріофаги у концентрації не менше 1×10^5 фагових часток до таких видів мікроорганізмів: *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*). Їх розподілено за статтю та віком: чоловіків – 9 (60 %), жінок – 6 (40 %). За тяжкістю та глибиною гнійно – некротичного ураження хворі розподілялися за класифікацією Wagner: II стадія – у 2 (13,3 %), III – у 3 (20 %), IV – у 7 (46,7 %), V – у 3 (20 %) пацієнтів.

При дослідженні показників загального вмісту лейкоцитів в капілярній крові на 1 добу дослідження нами встановлено зниження їх вмісту відносно периферичної крові в 3,65 рази ($p < 0,01$) з $(5,12 \pm 1,45) \times 10^9/\text{л}$ до $(1,40 \pm 0,12) \times 10^9/\text{л}$.

При цьому визначено, в зони некротичного ураження кількість моноцитів склало $(0,61 \pm 0,09) \%$. Вміст лімфоцитів в зоні некротичного ураження на 1 добу досліджень склав $(0,63 \pm 0,05) \%$ (табл. 1). Визначена велика кількість нейтрофільних гранулоцитів в стадії дегенеративних змін $(97,1 \pm 1,45) \%$. Встановлена наявність великої кількості ранового детриту. Мікрофлора в препаратах була розташована позаклітинно. Нейтрофільні гранулоцити знаходились в стадії завершеного фагоцитозу у $8,2 \pm 2,2 \%$ хворих.

На 3 добу дослідження нами визначено підвищення кількості лейкоцитів в капілярній крові зони термічного ураження в 1.82 рази відносно вихідних значень ($p < 0,01$). Визначено підвищення вмісту лім-

10 Markoishvili K., Tsitlanadze G., Katsarava R., Morris J. G., Sulakvelidze A. A novel sustained-release matrix based on biodegradable poly(ester amide)s and impregnated with bacteriophages and an antibiotic shows promise in management of infected venous stasis ulcers and other poorly healing wounds // International Journal of Dermatology. – 2002. – Vol. 41. – P. 453–458. doi: 10.1046/j.1365-4362.2002.01451.x (in English).

фоцитів та моноцитів відносно вихідних значень в 2,8 рази ($p<0,001$) та 2,7 рази ($p<0,001$) відповідно. Встановлено зниження показників вмісту нейтрофільних гранулоцитів з апоптичними змінами 1,27 рази відносно вихідних значень. Визначено зменшення вмісту тканинного детриту. Встановлено наявність фіброblastів. Кількість нейтрофільних гранулоцитів в стадії завершеного фагоцитозу визначалось на рівня $(49,4\pm 3,7)\%$, але залишалась велика кількість мікрофлори яка була розташована позаклітинно та в стадії незавершеного фагоцитозу.

На 7 добу досліджень нами виявлена тенденція до підвищення загальної кількості лейкоцитів в капілярній зоні некротичного ураження по відношенню до вихідних значень в 3,40 рази ($p<0,01$). В той час встановлено підвищення вмісту моноцитів та лімфоцитів в крові зони некротичної рани по відношенню до вихідних значень в 5,21рази ($p<0,001$) та 5,33 рази ($p<0,001$) відповідно. Кількість нейтрофільних гранулоцитів з апоптичними змінами було знижено відносно вихідних значень в 1,56 рази ($p<0,05$). Визначена наявність фіброblastів в значній кількості розташованих групами. Кількість нейтрофільних гранулоцитів в стадії завершеного фагоцитозу збільшилась до $69,7\pm 3,1\%$, що свідчить про позитивний вплив проводимого місцевого лікування ран у хворих на СДС.

Таблиця 1

Особливості розвитку перерозподільчих клітинних реакцій в капілярній крові зони некротичного дефекту у хворих з діабетичною стопою.

Досліджувальні показники	Одиниці виміру	Строки дослідження, доба		
		1 доба	3 доба	7 доба
Загальний вміст лейкоцитів капілярної крові зони некротичного ураження	$10^9/\text{л}$	$1,40\pm 0,13$	$2,56\pm 0,18$ * ($p<0,01$)	$3,40\pm 0,21$ * ($p<0,001$)
Вміст моноцитів	%	$0,61\pm 0,09$	$1,66\pm 0,10$ * ($p<0,001$)	$3,14\pm 0,28$ * ($p<0,001$)
Вміст лімфоцитів	%	$0,63\pm 0,05$	$1,75\pm 0,1$ * ($p<0,001$)	$3,25\pm 0,3$ * ($p<0,001$)
Кількість нейтрофільних гранулоцитів з апоптичними змінами	%	$97,1\pm 1,45$	$76,7\pm 3,9$	$62,8\pm 3,5$ * ($p<0,05$)

Кількість нейтрофільних гранулоцитів в стадії завершеного фагоцитозу	%	8,2±2.2	49,4±3.7 *(p<0,001)	69,7±3.1 *(p<0,001)

Нами було проведено дослідження функціональної активності моноцитів капілярної крові зони ранового дефекту (табл. 2).

При дослідженні функціональної активності моноцитів капілярної крові зони некротичного ураження нами встановлено значне її підвищення відносно референтних значень на 1 добу дослідження в спонтанному тесті в 2,1 рази (p<0,05) при значному зниженні в індукованому тесті в 5,5 рази (p<0,001) при індексі стимуляції (0.10) у.о. референтні значення (1,00) у.о.

Таблиця 2

**Показники функціональної активності моноцитів
капілярної крові зони некротичного ураження
у хворих з діабетичною стопою.**

Досліджувальні показники	Одиниці виміру	Строки дослідження, доба			Показники референтних значень
		1 доба	3 доба	7 доба	
Спонтанний НСТ-тест	%	25.8±2,9 *(p<0,05)	17.0±0.8 *(p<0,05) **(p<0,05)	14,3±1,7 *(p<0,05) **(p<0,05)	12,56±0,67
Індукований НСТ-тест	%	2,3±0,1 *(p<0,001)	6,2±1,5 *(p<0,05) **(p<0,05)	8,2±0.9 *(p<0,05) **(p<0,01)	12,67±0,43
Індекс стимуляції	У.О.	0,10	0,4	0,6	1,00

* достовірність розбіжностей по відношенню до референтних значень

** достовірність розбіжностей по відношенню до вихідних значень.

На 3 добу досліджень нами встановлена тенденція до зниження показників функціональної активності моноцитів капілярної крові зони ранового ушкодження спонтанному тесті в 1,5 (p<0,05) та підвищення в індукованому в 2,69 рази (p<0,05) по відношенню до вихідних значень. Індекс стимуляції склав в цьому терміні дослідження (0,4) у.о., що є на нашу думку ознакою тенденції до підвищення міграційної активності моноцитів з високим рівнем функціональності.

При дослідженні функціональної активності моноцитів в капілярній крові зони некротичного ураження на 7 добу нами встановлена оптимізація їх функціональної активності. Показники спонтанного НСТ-тесту в 1,7 рази ($p < 0,05$) були зниженні стосовно вихідні значення. В той час в індукованому тесті підвищення було в 3,96 рази ($p < 0,01$). Індекс стимуляції склав (0,6) у.о.

Висновок.

- На 7-му добу дослідження в зоні некротичного ураження у хворих на синдром діабетичної стопи виявлено:
- Збільшення загальної кількості лейкоцитів у 3,40 рази ($p < 0,01$) порівняно з вихідними значеннями;
- Зростання вмісту моноцитів у 5,21 рази ($p < 0,001$) та лімфоцитів у 5,33 рази ($p < 0,001$);
- Зниження кількості нейтрофільних гранулоцитів з апоптичними змінами у 1,56 рази ($p < 0,05$);
- Збільшення кількості нейтрофільних гранулоцитів у стадії завершеного фагоцитозу до $69,7 \pm 3,1 \%$;
- Наявність значної кількості фібробластів, розташованих групами, що свідчить про активацію репаративних процесів.
- На 7-му добу дослідження в зоні некротичного ураження у хворих на синдром діабетичної стопи зафіксовано оптимізацію функціональної активності моноцитів.
- Показники спонтанного НСТ-тесту знизилися у 1,7 рази ($p < 0,05$) порівняно з вихідними значеннями, що свідчить про зменшення фонові активації моноцитів.
- Показники індукованого НСТ-тесту зросли у 3,96 рази ($p < 0,01$), демонструючи зростання резервної функціональної здатності клітин.
- Індекс стимуляції становив 0,6 у.о., що додатково підтверджує підвищення реактивності моноцитів у відповідь на стимуляцію.

Зазначені зміни вказують на ефективне залучення моноцитів до реалізації захисних механізмів у зоні хронічного запалення.

Отримані результати підтверджують ефективність проведеного місцевого лікування в напрямку очищення ран та стимуляції їх загоєння.

Anastasiia KUNDIIEVA,

Ph.D., Senior Researcher

SI “Kundiiev Institute of Occupational Health of the
National Academy of Medical Sciences of Ukraine”

ORCID ID: 0000-0002-5988-4723

WORK AND RESEARCH OF THE INSTITUTE THROUGH THE PRISM OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE

On the night of April 25 to 26, 1986, the usual course of events changed dramatically. The largest accident in the history of the nuclear industry occurred at the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit IV. More than 300 MCi (14x10¹⁸Bq) of radioactive materials were released from the reactor core causing the contamination of 50,500 km² of the territory of Ukraine, where 2,218 settlements were home to over 2.4 million people. The central part of Ukraine, experienced the highest contamination. These territories were inhabited by 17.5 million people, including 2.5 million children under the age of 7 years¹. This disaster, which in its scale was a national tragedy, became a trial for the entire population of Ukraine, with over 600,000 people taking part in 1986-1989 in the clean-up works. In addition to significantly complicating the work of all medical institutions, the Chernobyl accident necessitated a shift in approach both to assessing the impact of radionuclides released during the Chornobyl disaster (characterized by their specific physical and chemical properties, structure, patchiness, and the scale of fallout) on the natural environment, and to the comprehensive analysis of all factors of the catastrophe affecting the human body, the surrounding animal and plant life, as well as the water and air basins². Specialists began to focus on the challenges of evaluating the degree of impact that the complex of accident-related factors had on the health of children, cleanup workers (liquidators), and the adult population – a task that required large-scale, in-depth clinical-epidemiological and experimental biomedical research.

The Kyiv Institute of Occupational Health and Diseases (presently named “Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy

¹ Baryakhtar, V. G. (Ed.). (1996). *Chornobyl Catastrophe* (p. 574). Kyiv: Naukova Dumka. (Ukrainian).

² Serdiuk, A., Bebesko, V., Bazyka, D., & Yamashita, S. (Eds.). (2011). *Health effects of the Chornobyl accident – a quarter of century aftermath* (p. 648). Kyiv: DIA.

of Medical Sciences of Ukraine”), under the leadership of its then director academician Yuriy Illich Kundiiev, promptly responded to the call-to-action. Many of employees became directly involved in mitigating the medical consequences of the disaster. Already by May 2, 1986 a brigade of doctors and scientists was formed and dispatched to Chornobyl, primarily to conduct educational work among those involved in the disaster response concerning hygienic measures for preventing radiation exposure. The great amounts of experience in practical work and scientific knowledge in preventive medicine in industrial and agricultural production accumulated by the Institute proved to be invaluable. Especially helpful was the earlier acquired expertise of the radiation hygiene laboratory that had operated at the Institute until 1973. However, it soon became evident that the decision to eliminate this laboratory was a mistake³.

As Dmitry Volkogonov wrote: "Chernobyl exposed many things in the system that Gorbachev sought to reform: rigidity, sluggishness, the habit of waiting for orders from above, lack of precise calculations, and unpreparedness for emergencies. No preventive measures for an accident were foreseen. At the critical moment, there were no personal protective means available. 'Civil Defense,' grand in scale, showed inadequate preparedness for extreme situations. As expected, the families of senior officials were evacuated first. Once again, the failures of leadership had to be compensated by the heroism of ordinary people, such as Major L. Telyatnikov, Lieutenants V. Pravyk and V. Kibenok, who died from lethal doses of radiation."⁴

By early May, researchers of the Institute had developed radiation safety guidelines for various categories of workers and for the population in the affected areas. Among them were: *"Hygienic instructions for land treatment, crop care, and harvest on land contaminated with cesium-137 above 40 Ci/km²", "Temporary recommendations for the use of flax raw materials with different levels of radioactive contamination"*, which were approved by the First Deputy Head of the State Agro-Industrial Committee of the Ukrainian SSR, Minister O.N. Tkachenko. Also in May 1986, the Institute developed *"Requirements for safe agricultural work under conditions of radioactive environmental contamination, considering zoning of the territory"*, along with an

3 Kundiiev, Y. (2014). *Institute through the prism of ages* (p. 352). Kyiv: Avicenna. (Russian)

4 Volkogonov, D. (1996). *Seven leaders* (Vol. 2, p. 357). M: Novosti. (Russian)

*"Instruction on organizing the collection and shipment of fruit and vegetable crops during radioactive contamination."*⁵.

On June 12, 1986, the Minister of Health, A.Yu. Romanenko, approved the hygienic recommendations developed by the Institute titled *"Radiation safety measures for various types of labor activities under radioactive contamination conditions"* – for agricultural, forestry workers, construction workers, and welders.

From the very first days of the disaster, scientists from the Institute advocated for the concept of combined health impacts from radionuclides and other factors, primarily stress, lead, and pesticides. For instance, I.M. Trakhtenberg proposed using pectin preparations to bind and remove radionuclides that entered the body through contaminated food. Academician O.O. Navakatikyan suggested optimal work-rest schedules for operational teams at the Chornobyl NPP working in shifts. V.I. Cherniuk developed requirements for the cabins of T-150 tractors operating in areas with elevated radionuclide contamination. The Kharkiv Tractor Plant (KhTZ) produced 600 machines with enhanced cabin sealing³. As for the period from May 12 to December 23, 1986, 683 disaster response workers were examined and provided with medical assistance in the Institute's clinic⁵. These were the main urgent measures developed by the Institute during the peak of the disaster response. Later, systematic scientific studies on eliminating the consequences of the Chornobyl disaster continued and they remain relevant today. These include ecological-hygienic, physiological, epidemiological, and clinical field studies conducted by Institute staff in the 30-kilometer zone around Chornobyl and in radiation-contaminated areas of Ukraine.

As it is well known that attempts were made to extinguish the burning fourth reactor by dropping lead, sandbags, clay, dolomite, and boron compounds from military helicopters. In total, more than 5,000 tons of these substances were dropped. At temperatures reaching 1600°C, the lead evaporated and was carried by air currents beyond the 30-kilometer zone⁶. Therefore, special studies were launched to examine lead content in soil. The head of the Ukrainian government at the time, A.P. Lyashko, and the Minister of Health, A.E. Romanenko, tasked Yu. I. Kundiev with collecting data that would characterize contamina-

5 Trakhtenberg, I., & Chernyuk, V. (Eds.). (2019). *Scientific achievements in occupational medicine. History and present: to the 90th anniversary of the founding of the Kundiev Institute of Occupational Health of the NAMSU (1928-2018)* (p. 384). Kyiv: Avicenna. (Ukrainian).

6 United Nations Environment Programme. (1982). *Lead. Science Reviews of Soviet Literature on Toxicity and Hazards of Chemicals* (p. 14). Moscow.

tion of the soil and other environmental objects not only with radionuclides but also with lead. This turned out to be a rather difficult task, as the collected data could not be compared with pre-accident levels – they simply did not exist. At the same time, information about the health status of particularly vulnerable groups (children, the elderly) indicated that the impact was due not so much to radionuclides, but to a whole complex of harmful factors, including lead, pesticides, and other chemical substances⁷.

Hygienic monitoring showed the highest levels of radionuclide and lead contamination were in northern Kyiv Oblast. In areas close to the exclusion zone, radiation levels were up to six times higher than lead compound levels, while in more distant areas, heavy metals predominated. Experimental studies at the time confirmed the potential synergistic toxic effects of combined exposure to radiation and heavy metals. Signs included alterations in tissue protein metabolism, nervous and endocrine system function, immune responses, and reproductive health⁸.

These findings supported the reality of combined exposure threats in contaminated areas, later confirmed by large-scale epidemiological studies. It became clear that evaluations of "Chornobyl effects" must consider both radiation and non-radiation factors. This principle was adopted internationally as a key strategy in addressing the health consequences of the disaster and was presented by Yu.I. Kundiev and I.M. Trakhtenberg at the first International Congress on Environmental Medicine (Duisburg, Germany), where their report titled: "Combined Effects of Heavy Metals and Radionuclides on the Organism of Chernobyl Accident Liquidators" was awarded the first place prize⁹.

By the end of the first year, the "*Instruction on the Preventive Use of Pectin Substances under Radioactive Contamination*" was developed and implemented. Institute staff participated in studies on working conditions and the health status of "critical" professional groups among disaster response workers operating in shifts in the 30-km zone. Physiological studies showed an increase in nervous system activity and brain performance in all professional groups during their shifts. However, signs of "hidden fatigue" were confirmed by objective

7 Kundiev, Y. (2002). *Occupational Health – 50 years of experience* (p. 672). Kyiv: Avicenna.

8 Trakhtenberg, I., & Chernyuk, V. (Eds.). (2019). *Scientific achievements in occupational medicine. History and present: to the 90th anniversary of the founding of the Kundiev Institute of Occupational Health of the NAMSU (1928-2018)* (p. 384). Kyiv: Avicenna. (Ukrainian).

9 Kundiev, Y. (2014). *Institute through the prism of ages* (p. 352). Kyiv: Avicenna. (Russian)

data on cardiovascular function and sensory system health. Operators of heavy construction equipment were found to be among the most vulnerable groups. Recommendations were made for improving working and living conditions, protective measures, and technical solutions, such as sealing equipment cabins. A detailed job profile was created for key personnel ensuring the functionality of the NPP after the accident¹⁰.

After the disaster, the Institute also examined reproductive health in rural women, comparing data from “clean” and “contaminated” zones, and from pre- and post-Chornobyl periods. The study focused on the combined effects of internal radiation doses and chemical exposure from pesticides and agrochemicals on the female reproductive system (gonadotoxic and embryotoxic impacts). The Institute’s women’s and adolescent labor hygiene lab conducted field expeditions for these investigations¹¹.

The “Shelter” object (Sarcophagus), containing millions of tons of radioactive waste, remains one of the most significant threats. The Institute conducted regular monitoring of working conditions there, helping shape workplace safety certification and administrative decisions in the exclusion zone.

The pinnacle of the Institute’s Chornobyl-related research was its participation in the Ukrainian-American Chornobyl Ocular Study (UACOS), an epidemiological study on radiation-induced cataracts in cleanup workers. Initiated by Prof. Basil Worgul of Columbia University, the project aimed to verify the radiation threshold dose for the human eye lens. This involved: designing a reliable epidemiological study with a representative cohort, accurately determining individual radiation doses, using modern ophthalmological diagnostics, employing validated analytical methods in both Ukraine and the U.S. This pioneering international study broadened understanding of ionizing radiation’s biological effects and occupational health risks. Its findings were incorporated into the IAEA radiation safety standards¹².

Also, from the very beginning of the activity of the National Commission of the Verkhovna Rada of Ukraine on Radiation Protection of the Population,

10 Trakhtenberg, I., & Chernyuk, V. (Eds.). (2019). *Scientific achievements in occupational medicine. History and present: to the 90th anniversary of the founding of the Kundiiev Institute of Occupational Health of the NAMSU (1928-2018)* (p. 384). Kyiv: Avicenna. (Ukrainian).

11 Kundiiev, Y., Karakashyan, A., Chusova, V., & Kryzhanovska, M. (1995). Health of women employed in agricultural production in Ukraine. *Likarska Sprava*, (1-2), 98–103. (Ukrainian).

12 Junk, K., Kundiiev, Y., & Worgul, B. V. (Eds.). (1999). *7. Okular Radiation Risk Assessment in Populations Exposed to Environmental Radiation Contamination* (p. 223). Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers.

researchers of the Institute, in particular Yu.I. Kundiiev and L.O. Dobrovolskyi had been actively involved in its work.

For Ukraine, scientific and technical support for the nuclear sector remains a top priority. Even today, it's unclear when the effects of Chornobyl – premature deaths and serious illnesses caused by radiation – will subside. Thus, research into Chornobyl's consequences remains vital. There's an increasing focus on longitudinal epidemiological studies as part of social and hygienic health monitoring in the exclusion zone and surrounding contaminated areas. All strategic research directions initiated under the Chornobyl agenda must continue to evolve.

Valentyna MOYSEYENKO,
Doctor of Medical Sciences, Professor,
Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Bogomolets National Medical University
ORCID ID: 0000-0003-1402-6028

HEALTH STATUS AND RISK OF DEVELOPMENT OF LIVER LESIONS AMONG THE RESIDENTS OF UKRAINE

A new classification and nomenclature of fatty liver disease was adopted at the International Hepatology Congress of the European Association for the Study of the Liver (EASL), which was held in Vienna on June 21-24, 2023. Leading hepatologists proposed replacing the term “non-alcoholic fatty liver disease” with the term “steatotic liver disease associated with metabolic dysfunction.” This diagnosis is made in patients with confirmed hepatic steatosis and one of the five cardiometabolic risk factors. The concept of “nonalcoholic steatohepatitis” (NASH) has been changed to the concept of “steatohepatitis associated with metabolic dysfunction”. In recent years, the number of patients with liver damage has doubled. Treatment of patients remains ineffective, often symptomatic, and side effects may occur. Comorbidity makes it difficult to achieve treatment effectiveness (the need for desensitizing, antibacterial, prokinetics, antispasmodics increases)¹.

¹ Mitochondrial dysfunction: mechanisms and advances in therapy. Zong Y, Li H, Liao P, Chen L, Pan Y, Zheng Y, Zhang C, Liu D, Zheng M, Gao J. Signal Transduct Target Ther. 2024 May 15;9(1):124. doi: 10.1038/s41392-024-01839-8.

The report of prof. Helena Cortez-Pinto (Lisbos University, Portugal, President UEG (2022-2023)) indicated the increase in the frequency of liver damage in the world, at the 9th Congress of Gastroenterologists of Ukraine (25-27.09.2024) the increase in the frequency of liver damage in its residents was confirmed. In Ukraine, Industry Standards and Clinical Guidelines for the Treatment of Alcoholic Hepatitis (2019), Autoimmune Hepatitis (2019), Viral Hepatitis B (2021), Viral Hepatitis C (2021), Non-Alcoholic Steatohepatitis (2019) were adopted. Epidemiology: the prevalence of steatotic liver disease (SLD) in the world is 30 %, in Europe – 25 %. Non-invasive diagnostic tests are gradually replacing liver biopsy. The emphasis is on the metabolic association of SHP. Pathogenetic links of the cardiometabolic consensus MASLD: insulin resistance, increased glucose production (over 100 mg/dL, HbA1c over 5.7 %), increased cytokine levels (systemic inflammation), increased triglycerides (increased above 2.3 mmol/l when the normal triglyceride level in an adult is less than 1.7 mmol/l), decreased high-density lipoproteins (HDL norm – above 1-1.2 mmol/l, in women the HDL level is not less than 1.42 mmol/l, in men the HDL level is 1.68 mmol/l). The content of high-density lipoproteins (HDL) in plasma, which have anti-atherogenic properties, is of great importance for atherogenesis. Their content is inversely proportional to the rate of development of early atherosclerosis. The lower the plasma concentration of HDL (in particular, less than 1-1.2 mmol/l), the higher the risk of developing atherosclerosis. Normally, the level of LDL is up to 3 mmol/l (from 2.2 to 4.8 mmol/l) and 1.8 mmol in people from the risk group, an increase in Apo-B (with a norm for women of 0.6-1.41 g/l; men of 0.66-1.44 g/l), diastolic dysfunction, myocardial and mitochondrial dysfunction². Mitochondrial dysfunction, including mtDNA, miRNAs located in mitochondria, and associated proteins, play an important role and may be potential therapeutic agents to enhance mitochondrial function in immunometabolic diseases and tissue damage.

Current strategies for the treatment of mitochondrial dysfunction in terms of dietary supplements and targeted therapy are reviewed, as well as the clinical translational situation of related pharmacological agents. Attention is

2 The National Consensus statement on the management of adult patients with non-alcoholic fatty liver disease and main comorbidities] Ter Arkh. 2022 Feb 15;94(2):216-253. doi: 10.26442/00403660.2022.02.201363.

paid to anti-obesity drugs in SHP. A chronic liver condition that encompasses a spectrum of pathologies from simple steatosis to predominantly focal necroinflammation with or without centrilobular fibrosis is defined as nonalcoholic steatohepatitis (NASH), which can ultimately lead to cirrhosis and its associated complications. Obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes mellitus aggravate liver changes. The presence of hypothyroidism, hypopituitarism, hypogonadism, sleep apnea, and polycystic ovary syndrome in a patient provoke the development or are consequences of obesity, therefore they are risk factors for the development of NASH.

Metabolic alcoholic liver disease is a new category of steatosis, which is defined in patients with steatotic liver disease associated with metabolic dysfunction and consumption of excessive amounts of alcoholic beverages per week: 140 g/week. for women and 210 g/week. for men.

Cryptogenic steatohepatitis has occurs in patients with an unknown etiology or without any metabolic risk factors.

Autoimmune hepatitis is a chronic liver disease of unknown etiology, characterized by continuous necrosis of liver tissue, accompanied by the replacement of normal liver tissue with connective tissue (fibrosis) with the subsequent development of cirrhosis and progressive liver failure.

Clinical manifestations of steatohepatitis: fatigue, decreased physical activity, nosebleeds (dropsy), bleeding gums; jaundice, manifestations of endogenous intoxication ("shadows" under the eyes), heaviness in the abdomen and its enlargement; nausea and vomiting; decreased or complete loss of appetite; the appearance of spider veins, ecchymoses in the absence of injury, weight loss; itching of the skin; discoloration of feces; darkening of urine; enlargement of the liver and spleen; pain in the right hypochondrium; decreased skin elasticity and dryness; symptoms of dyspepsia – belching, heaviness in the abdomen, periodic mild nausea, frequent constipation and diarrhea; dilated subcutaneous vessels on the chest, abdomen; jellyfish head – dilated veins on the skin of the abdomen; bleeding from the esophagus, intestines, stomach.

All these nosologies also occur in the liquidators of the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) accident. In addition, age changes have been added (the average age of such patients today is within 57-62 years), these patients have a number of concomitant diseases, such as arterial hypertension, diabetes mel-

litus, obesity, alcohol abuse, cardio-metabolic risks, which provoke the occurrence and progression of liver lesions³.

The selection of drugs is based on a complex action: influence through humoral, cellular, neuro-reflex mechanisms, activation of monocytes and macrophages in all organs and systems. Conclusions. To inhibit the progression of SHP, one should focus on normalizing weight, eliminating fatty hepatosis (liver steatosis) and biliary sludge, normalizing stool and intestinal microbiota, improving enterohepatic circulation, avoiding excessive polypharmacy. The FDA approved the first drug to eliminate liver fibrosis (resmethiron, which is a partial activator of the thyroid hormone receptor; their activation in the liver reduces fat accumulation, 2024). The prospects for innovation and potential applications of mitochondrial transplantation as a progressive and promising treatment method are considered.

The selection of drugs is based on a complex action: influence through humoral, cellular, neuro-reflex mechanisms, activation of monocytes and macrophages in all organs and systems.

Conclusions. To inhibit the progression of SHP, one should focus on normalizing weight, eliminating fatty hepatosis (liver steatosis) and biliary sludge, normalizing stool and intestinal microbiota, improving enterohepatic circulation, avoiding excessive polypharmacy. The FDA approved the first drug to eliminate liver fibrosis (resmethiron, which is a partial activator of the thyroid hormone receptor; their activation in the liver reduces fat accumulation, 2024). The prospects for innovation and potential applications of mitochondrial transplantation as a progressive and promising treatment method are considered.

3 Epidemiological studies of mortality due to non-tumor diseases in the adult population evacuated from the Chernobyl exclusion zone. The impact of low doses of ionizing radiation / O.Ya. Pirogova, V.O. Buzunov, V.A. Tsuprykov, T.E. Domashevska // Environment and Health. – 2011. – No. 1. – P. 23-29; Scientometric analysis of scientific communication tools on the problems of medical consequences of the Chernobyl accident / N.O. Artamonova, A.E. Gorban, G.V. Kulinich [et al.] // Ukrainian Radiological Journal. – 2014. – No. 3. – P. 48-52.

ТАБАЧНИКОВ Станіслав Ісакович,
доктор медичних наук, професор,
заслужений лікар України,
відмінник освіти України, президент
ГО «Національна академія наук вищої
освіти України»,
ORCID ID: 0000-0002-6771-6412

ТОВАЛОВИЧ Тетяна Володимирівна,
керівник апарату Президії
ГО «Національна академія наук вищої
освіти України»,
ORCID ID: 0000-0003-3427-3077
Україна

РОЛЬ І МІСЦЕ ПСИХОТЕРАПІЇ ТА ПСИХОПРОФІЛАКТИКИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕСОНАЛУ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Минуть століття, а подія, що відбулася 26 квітня 1986 року о першій годині 23 хвилині 40 секунд буде не лише предметом гострих дискусій, а й об'єктом дослідження науковців, медиків, психологів, соціологів, економістів, політиків тощо.

У зв'язку з аваріями на атомних станціях Три-Майл-Айленд (Пенсільванія, США), Фукусіма Данчі (Японія) та інші постала проблема забезпечення надійності та безпеки роботи оперативного персоналу, кваліфіковані дії якого можуть не допустити до 70 % виникнення нештатних ситуацій на атомних електростанціях¹.

Вирішити це питання неможливо без підвищення якості відбору оперативного персоналу атомних електростанцій та розробленої, апробованої і впровадженої нами у 1987 р. системи психогієни, психопрофілактики і реабілітації безпосередньо в медико-санітарних частинах цих підприємств, профільних санаторіях, профілакторіях та реабілітаційних центрів при АЕС.

¹ Кутько І.І., Табачников С.І., Долганов А.І., Панченко О.А. Медико-психологічне забезпечення безпеки і надійності роботи персоналу атомних електростанцій. Київ, 1994. – 227 с.; Панченко О.А., Кутько І.І., Моляко В.А., Майоров О.Ю., Табачников С.І. та інші. Чорнобиль: уроки ... і після. Київ, 2016. – 405 с.

В її основі лежить концепція, що полягає у профілактиці межових психічних розладів (далі – МПР), обумовлених впливом негативних виробничих та соціально-побутових факторів на структуру особистості оператора. Це досягається завдяки структурно-особистісним змінам, що підвищують психічну стійкість оператора до впливу негативних виробничих факторів. Ця система не має аналогів, як у нашій державі, так і за кордоном і базується на низці принципів.

До них, зокрема, належать:

- *принцип єдності* біологічних та психологічних (психотерапевтичних) методів, які відображають тісний взаємозв'язок соціальних і біологічних чинників у розвитку межових психічних розладів (МПР). Використання цього принципу у психопрофілактиці сприяє комплексному впливу на фактори їх розвитку, внаслідок чого скорочуються терміни психопрофілактики з відривом від виробництва (у реабілітаційному центрі при АЕС), підвищується її якість;
- *принцип етапності* психопрофілактики. За його реалізації поетапно протягом календарного року проводять профілактику МПР з урахуванням специфічних умов операторської праці, виробничих шкідливостей;
- *принцип наступності* психопрофілактичних заходів. За його дотримання враховують результати психопрофілактики, отримані на кожному її етапі;
- *принцип структурно-особистісного підходу* до психопрофілактики. Він дозволяє вирішувати завдання психопрофілактики шляхом підвищення психічної стійкості особистості оператора до впливу негативних виробничих та соціально-побутових факторів за рахунок його структурно-особистісних змін².

Для зміни структури особистості застосовують психотерапевтичні і психокорекційні методи (як основні), психо- та фармакорекцію (як додатковий)³.

Необхідність поєднання психотерапевтичних і фармакологічних методів корекції впливає з принципу єдності біологічних і психологічних методів психопрофілактики. Із медикаментозних методів використову-

2 Долганов А.І. Психотерапевтична корекція особистості у оперативного персоналу АЕС з метою психопрофілактики. Харків. 1992.

3 Табачников С.І. Психотерапія та корекція невротичних розладів в учасників ЛНА на ЧАЕС / Табачников С. І. [та ін] // Тез. доп. Міжн. конф. – К.: 1991. – С. 24-26; Табачников С.І. Місце психотерапії в системі реабілітаційних заходів, що проводяться учасникам ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС у віддаленому періоді / Табачников С. І. [та ін] // Психологія та медицина: Тез. доп. Першого Українського семінару медпсихологів. – Донецьк: [б. вид.], 1994. С. 50-51.

ють адаптогени, ноотропи, седативні засоби строго за показаннями, паралельно з психотерапевтичною корекцією. Схема прийому седативних препаратів базується на принципі максимальної адаптації операторів до них, але не рекомендується їх вживання особливо у вечірню та нічну зміни, що дозволяє зберегти їх професійні якості. Розпочинають психотерапевтичні заходи у позаробочий період в санаторно-курортному закладі або реабілітаційному центрі при АЕС та у виняткових випадках – у міжзмінний період відпочинку операторів, але тільки після настання адаптації до препарату. Психопрофілактичні заходи в реабілітаційному центрі при АЕС починаються після клініко-психологічного визначення психічного стану оператора. Ці заходи проводять під час групової психотерапії, де здійснюють підбір методів емоційно-вольового тренування (далі – ЕВТ) для тих, хто опанував базисні вправи ЕВТ в санаторно-курортних установах.

Наведемо деякі психотерапевтичні прийоми та техніку виконання ЕВТ в модифікації професора С.І. Табачнікова (1986-1990 рр.). Він є одним із синтетичних методів психотерапії і був розроблений для осіб, які працюють в екстремальних умовах⁴. Завданням ЕВТ є формування навичок самовпливу. Загальний курс навчання складається з 8-10 занять. У процесі індивідуальних і групових занять особи освоюють базисні вправи з метою формування основних навичок самовпливу, переважно на емоційно-вольову і м'язову сфери.

Цими цілями, перш за все, є вправи для м'язової релаксації, викликання відчуття тепла в кінцівках з подальшою генералізацією тих чи інших відчуттів.

Залежно від конкретної ситуації для працюючих, навчених прийомів ЕВТ, вводять ті чи інші формули самонавіювання.

Наприклад, для охочих кинути палити: «Куріння для мене отрута. Свобода від цигарок приносить радість та задоволення. Куріння мені шкодить, свобода від сигарет робить мене задоволеним собою».

При алкоголізації: «Я абсолютно спокійний. Впевнений у собі. Алкоголь байдужий мені. Стриманість від нього приносить мені радість. Ніколи й ніхто не змусить мене вживати алкогольні напої. Я цілком упевнений у

4 Табачніков С.І. Медико-психологічна служба на підприємствах вугільної промисловості України/С. І. Табачніков, Філатов А.Т. та ін. // Неврологія та психіатрія. – 1987. – Вип. 16. – С. 107-109; Табачніков С.І., Рожнов В.Е. Емоційно-вольове тренування. Методичний посібник, Всесоюзна студія грамзапису фірми «Мелодія», 1991; Табачніков С.І., Рожнов В.Е., Черепков В.М. Емоційно-вольове тренування при деяких межових станах і психосоматичних розладах. Методичний посібник, Всесоюзна студія грамзапису фірми «Мелодія», 1991.

своїх силах. Я утримуюсь від прийому спиртних напоїв. Алкоголь чужий мені, і це приносить мені радість. Я впевнено досягну поставленої мети. Я впораюся. Людина все може. Я можу. Я все можу. Я обов'язково дотримаюсь свого слова і перестану вживати алкогольні напої»⁵.

З появою почуття тривоги, напруженості, невпевненості під час виконання виробничих завдань: «У будь-якій ситуації почуваюся впевненим. Я впевнений у собі завжди. Я спокійний, рішучий, стриманий. Впевненість наростає з кожним днем. Впевненість та зібраність нарастають перед майбутньою справою. Почуваюся при цьому спокійним та зібраним. При виконанні завдання впевнений у собі, рішучий, сконцентований. Впевненість та спокій нарастають у міру виконання завдання. Рішення приймаю впевнено у будь-якій ситуації. Коливання повністю покинули мене. Я можу виконати будь-яке завдання. Моя впевненість видно моїм колегам. Я внутрішньо зібраний, цілком спокійний. Я впевнено виконую будь-яке несподіване завдання в екстремальній ситуації. Рішення ухвалюю впевнено. Відчуваю непохитну впевненість у несподіваних екстремальних ситуаціях. Я весь як стиснута пружина. Я готовий діяти»...

Формули самонавіювання залежать від психологічного і фізичного стану особи.

При підвищеному рівні тривоги, страху у стресовій ситуації: «Я спокійний, зібраний. Почуваюся впевнено. Готовий до активних дій. Відчуваю здатність виявити всі свої позитивні якості та впоратися з будь-якою несприятливою ситуацією. Я повністю контролюю свій психічний стан. Тривога та страх зникли».

При підвищеній стомлюваності, дратівливості, безсонні: «Я повністю заспокоївся. Весь мій організм заспокоївся. Я відпочиваю. Відпочиває моя нервова клітина. Відновлюється робота всіх органів та систем мого організму. Поліпшується робота мозку. Відчуваю приємне тепло по всьому тілу. Вночі я спокійно спатиму, вранці прокинуся бадьорим»...

При зниженому настрої, неприємних думках: «Я абсолютно спокійний. Мені байдужі всі сторонні думки. Вони ходять, покидають мене. Моя увага утримує тільки думку про спокій, душевну рівновагу. Мені затишно, комфортно, добре. Я відчуваю приємне тепло та тяжкість у всьому тілі. Мій настрій по-

5 Табачніков С.І., Панченко О.А., Емоційно-стресова психотерапія тютюнопаління та хронічного алкоголізму. Все-союзна студія грамзапису фірми «Мелодія», 1991.

кращується, стає рівним, стійким. Навіть незначні приємні події дуже тішать мене. Мені приємно, спокійно, добре. Мій стан здоров'я значно покращується».

При вегето-судинній дистонії з нападами серцебиття, коливаннями артеріального тиску, головним болем: Я цілком спокійний. Моє тіло наповнюють відчуття тепла та тяжкості. Виразно відчуваю тепло в серці. Кровоносні судини мого організму розширилися. Артеріальний тиск нормалізувався. Я почуваюся добре. Відчуваю прохолоду в області чола. Значно поліпшується мій нічний сон⁶.

Важливим також є психокорекція безсоння – найчастішого провісника дезадаптації операторів,.

Визначальний метод профілактики синдрому безсоння в оперативного персоналу є психотерапія, яку слід починати з першої зустрічі із операторами з використанням методів роз'яснювальної, раціональної та непрямой психотерапії.

З метою профілактики синдрому безсоння застосовують спеціальні формули самодії у поєднанні з релаксацією. При цьому, лежачи в ліжку, роблять кілька повільних вдихів та видихів із затримкою дихання: 5-ю с. – вдих; 5-ю с. – видих; 5-ю с. – затримка. Особа, яка займається спочатку зосереджує свою увагу на області свого обличчя і намагається максимально розслабити м'язи, далі – на верхніх і нижніх кінцівках, намагаючись максимально їх розслабити, а потім – на диханні. На тлі такого м'язового розслаблення та «сонного» дихання роблять такі самонавіювання: «Я спокійний. Я зовсім спокійний. Ніщо не відволікає мене. Серце працює ритмічно. Дихання рівне, спокійне. Думки плутаються в голові і зникають. Не хочеться думати. Не хочеться рухатися. Хочеться спати. Я засинаю...»

У тих випадках, коли той, хто займається перший час після пробудження, не відчуває свіжості в тілі, йому рекомендують проводити такі заняття через кожні 2-3 години протягом 3-5 хв. Формула навіювання при цьому така: «Я заспокоююсь. Я спокійний. Я зовсім спокійний. Дихання рівне, серце працює спокійно, рівномірно. Ніщо не відволікає. Ні про що не думаю. Відпочиваю. Кожна клітка мого організму відпочиває. Відпочиває кожна нервова клітина. Думати не хочеться. Нервова система заспокоюється дедалі більше. Відчуваю приплив сил. Поліпшуються увага та пам'ять. Нервова система відновлюється. Настрій рівний і добрий. Короткочасний відпочинок освіжив

6 Табачніков В.І., Черепков В.М., Філатов А.Т. Самонавіювання в гіпнотичному стані при вегето-судинній дистонії. Всесоюзна студія грампзапису фірми «Мелодія», 1990.

мене. Втома повністю зникла. Я свіжий і бадьорий. Почуття приємної енергії та бадьорості у всьому тілі. Мої реакції чіткі, швидкі. Я готовий працювати».

З методів рефлексотерапії у психопрофілактичних цілях операторів навчають методам загального масажу, точкового масажу, голкоаплікації.

У реабілітаційному центрі при АЕС на другому етапі з метою психопрофілактики активно використовують різні водні процедури.

У процесі даного етапу психопрофілактики ті, хто навчаються повинні опанувати навички дихальної гімнастики, релаксаційної гімнастики, у період навчання набути знання про психофізіологію стресу, раціональне харчування, індивідуальний режим праці та відпочинку.

Дихальна гімнастика дає можливість оператору швидко відпочити, заспокоїтись після роботи, активізувати психофізіологічні властивості перед майбутньою робочою зміною, її вправи починають з розминки, що триває не менше 5 хв. і, що включає, біг на місці або з просуванням, легкі стрибки, кругові обертання тіла, нахили і присідання.

Наступним етапом дихальної гімнастики є власне дихальні вправи.

1. Нижнє заспокійливе дихання. При вдиху повітря заповнює лише нижні відділи легень, живіт випинається, при видиху, у міру видиху повітря з нижніх відділів легень, втягується живіт. Грудна клітка залишається нерухомою. Вправу повторюється тричі.

2. Енергійне середнє дихання. При вдиху повітря заповнює середні відділи легень, грудна клітка розширюється. При видиху грудна клітка повертається у вихідне положення, живіт при цьому диханні нерухомий. Вправу виконують 3 рази.

3. Верхнє дихання. При вдиху повітря заповнюються верхні відділи легень, грудна клітка піднімається вгору, під час видиху – опускається у звичайний стан. При цьому диханні живіт нерухомий, грудна клітка не розширюється. Вправу потрібно виконувати 2-3 рази.

4. Гармонійне повне йогівське дихання. Воно складається з нижнього, середнього та верхнього дихання, на вдиху повітря постійно заповнює нижні, середні, верхні відділи легень. При цьому випинається живіт, потім розширюється грудна клітка і піднімається нагору, а живіт підтягується. На видиху повітря спочатку виходить із нижніх, потім – із середніх та верхніх відділів легень. При цьому спочатку підтягується живіт, потім звужується та опускається грудна клітка. Ця вправа виконується під час ходьби 3-4 рази.

5. Очищувальне ХА-дихання. Ноги ставлять на ширину плечей, роблять глибокий «гармонійний» вдих із підняттям рук перед собою вгору і затримують дихання, відкривають рота і енергійно видихають, опускаючи руки і нахилиючись вперед. У цьому енергійно видають звук «ха». Повільно повертаються у вихідне положення та відпочивають протягом трьох звичайних дихальних циклів. Вправу слід повторювати 2-3 рази.

6. Особа після «гармонічного» вдиху затримує дихання стільки, скільки йому приємно, з наступним розтягнутим видихом через рот. Повітря має виходити якомога повільніше зі свистячим звуком. Вправу повторюють 2-3 рази.

7. Повний вдих із затримкою дихання до появи неприємного відчуття з наступним повним видихом у три різких видихи – в перший різкий видих повітря з нижніх відділів легень (живота), у другий – із середніх (грудей), у третій – з верхівок легень. При цьому тіло знаходиться у вертикальному положенні. Вправа виконується енергійно протягом 3-х разів, між якими відпочинок у три основні дихальні цикли.

З релаксаційної гімнастики рекомендуємо такі вправи.

1. Стоячи, ноги нарізно, нахилитися вперед. Підняти руки через сторони вгору, напружуючи м'язи і стискаючи пальці в кулаки, утримувати стан напруги м'язів 5 с. Зворотними рухами повернутись у вихідне положення, максимально розслаблюючи м'язи. Вправу виконати 5 разів.

2. Нахилитися вперед, максимально розслабити м'язи плечей, передпліч і кистей, струшуючи кистями протягом 4 с., потім повернутися у вихідне положення. Вправу повторити 5 разів.

3. Тримаючись за опору, стоячи на одній нозі, підняти вільну ногу вперед, гранично напружуючи м'язи, відтягуючи носок. Утримувати стан напруги протягом 5 с, потім максимально розслаблюючи м'язи піднятої ноги, повернути її у вихідне положення. Вправу повторити чотири рази з кожною ногою.

4. Підняти праву ногу, притримуючи її за стегно, струшуючи її розслабити м'язи гомілки та стопи. Вправу повторити 5 разів на кожную ногу.

5. Напруж м'язи шиї на 3 сек., максимально розслаблюючи м'язи, опустити голову вперед. Вправу повторити 5 разів.

6. Максимально напружити м'язи грудей та живота, утримуючи цю напругу протягом 5 с., потім максимально розслабити ці м'язи. Вправу повторити 4 рази.

7. Максимально напружити м'язи спини, наводячи лопатки один до одного, утримувати напругу в цьому положенні протягом 5 с. Повернутись у вихідне положення, максимально розслаблюючи м'язи спини. Вправу повторити 4 рази.

Для досягнення більшої ефективності при виконанні цих вправ необхідно використовувати словесні формули самонавіювання, наприклад: «М'язи рук (ніг, шиї, тулуба) максимально розслаблені (напружені)».

Прийоми релаксаційної гімнастики сприяють зняттю втоми, підвищують поріг фізичної втоми. Ці вправи рекомендують виконувати операторам перед початком, і після закінчення робочої зміни.

Пропоновані вправи з дихальної та релаксаційної гімнастики розраховані для використання в кімнатах психоемоційного розвантаження під час робочої зміни оператора.

В усуненні різних невротичних проявах (стомлюваності, нерішучості, розсіяності уваги, порушення сну, відчуття внутрішнього занепокоєння, вегетативно-вісцеральні розлади у вигляді загального та дистального гіпергідрозу, лабільності пульсу та високого артеріального тиску та ін.) важливу роль відіграють фізичні вправи.

Правильний вибір рухового режиму неможливий без урахування особистісних якостей операторів, у тому числі розуміння ними необхідності фізичного тренування як засобу мобілізації резервних можливостей організму, підвищення працездатності, стійкості організму до впливів довкілля.

Шляхом розмов, аналізу клінічних, антропометричних даних уточнюють та оцінюють рівень загальнофізичної підготовки операторів, місце фізичної культури в режимі їхньої праці та відпочинку, бажання займатися фізичними тренуваннями, гартуванням. При цьому враховують, що пристосування організму до недостатньої фізичної активності супроводжується значною і тривалою нервовою напругою, а гіподинамія призводить до зниження тону су кори головного мозку та адаптаційних здібностей нервової системи.

Ефективність засобів фізкультури ґрунтується на системності, регулярності, адекватності, поступовому наростанні навантажень, тривалості їх застосування.

Тому при проведенні тренувальних занять з операторами психотерапевту (психологу) слід, насамперед, бути внутрішньо зібраним, спокійним, впевненим у собі, доброзичливим, щоб виробити у пацієнтів позитивні емоції.

Для прискорення тренування окремих фізичних якостей (сили, швидкості, витривалості) певних груп м'язів, удосконалення техніки емоційно-вольового тренування С.І. Табачников (1987-1994 рр.) рекомендує застосовувати функціональну гімнастику в поєднанні з нервово-м'язовою електростимуляцією спеціальними апаратами (шийного відділу комірної зони хребта, спини), самомасаж стоп роликами, функціональну музикотерапію, неспецифічну мобілізацію шийного, грудного, попереково-крижового відділів хребта прийомами мануальної терапії, силові вправи в повільному темпі з паузами для відпочинку, віджимання у вертикальній позі тіла на пристрої типу «брусів» 6-8 разів, виси на шведській стінці з підняттям ніг під прямим кутом 6-8 разів.

На робочому місці доцільно застосовувати вправи ізометричної гімнастики, окорухової гімнастики, потягування тіла з прогинанням назад, вправ для м'язів шиї (повороти в бік, кругові обертання) 3-4 рази в зміну по 2-3 хв. кожні 3-4 години.

Під час прямування на роботу і з роботи в транспорті показані статичні вправи в кріслі для основних груп м'язів кінцівок та тіла.

У реабілітаційному центрі при АЕС у позаробочий час віддається перевага самостійним формам занять: засвоєним комплексам вправ, елементам спорту та ігор у поєднанні з психоемоційним розвантаженням, функціональною музикою, сауною, масажем. На даному етапі також приділяють увагу дихальній гімнастиці. У бальнеологічному реабілітаційно-оздоровчому комплексі АЕС краще використовувати тренажери, масаж (підводний, душ – масаж), інгаляції в поєднанні з дихальними вправами, плавання в басейні з вправами на розслаблення, сауну, а в залах лікувальної фізкультури, основна увага приділяється вправам, які розвивають увагу, точність, координацію рухів з використанням ігор із м'ячем. Всім, хто займається пропонується вести щоденник самоконтролю з урахуванням основних показників фізичного розвитку, а також фізичної підготовленості та самопочуття. На цьому етапі для осіб, які потребують творчої самореалізації, на підставі даних, отриманих при діагностуванні структурно-особистих особливостей, що стосуються інтересів і здібностей особистості, «поводиться корекція методом творчого самовираження. Основне її завдання – більш повна самореалізація особистості оператора, що сприяє позитивним змінам його пізнавальної діяльності».

Третій етап психопрофілактики, умовно названий «етап підтримувальної психопрофілактики та спостереження», проводиться в кімнатах психоемоційного розвантаження на щитах блоків АЕС. На цьому етапі фахівець дотримується принципу активного патрунування за гнучким графіком операторів на блоках щитів управління (БЩУ).

На цьому етапі вирішуються такі завдання: засвоєння результатів психокорекції, проведеної на попередніх двох етапах, закріплення освоєних методів психічної саморегуляції, зняття нервово-психічної напруги, надання допомоги у вирішенні психологічних проблем операторів, нагляд за психічним станом. Основні методи психокорекції на цьому етапі – індивідуальна психотерапія, психокорекція методами психічної та фізичної саморегуляції. Слід зазначити, що і другий етап психопрофілактики проводиться щорічно у спеціально обумовлений з адміністрацією час, який враховується як робоче, третій етап – протягом усього року на робочих місцях.

Триетапна система психопрофілактики становить річний цикл і щорічно повторюється, у результаті цього оператор не випадає з поля зору фахівців. Вони мають можливість проводити корекцію його здоров'я протягом як календарного року, так і усього періоду роботи на підприємстві.

Висновки:

1. У науковій праці узагальнений досвід роботи медико-реабілітаційної бригади МОЗ УРСР безпосередньо на Чорнобильській АЕС (1986-1987 рр.), а також ВО «Спецатом» (1988 р.) і ВО «Комбінат» (1988-1989 рр.).
2. Установлено, що від грамотних дій оперативного персоналу залежить запобігання і недопущення до 70 % нештатних ситуацій на АЕС.
3. З метою підвищення ефективності психопрофілактичних заходів нами розроблена система психогігієни, психопрофілактики і психотерапії для запобігання межових психічних розладів і підвищення стресостійкості оперативного персоналу атомних станцій, яка умовно складається з трьох етапів: діагностичний, власне «диференційованої» психопрофілактики, і етап реабілітації персоналу в профільних санаторно-курортних установах, профілакторіях, а також безпосередньо в реабілітаційних центрах на АЕС.

БОЛЬШАКОВА Галина Михайлівна,
кандидатка медичних наук, доцентка,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-1151-0562

ЧАСТІЙ Тетяна Володимирівна,
кандидатка медичних наук,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-4745-5737

ШЕВЧЕНКО Юлія Володимирівна,
асистентка,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-7607-2575

КУЧМА Ірина Юріївна,
кандидатка медичних наук, доцентка,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-7642-3750

ГОЛУБКА Ольга Вадимівна,
кандидатка медичних наук,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0009-0008-9690-6208
Україна

РАДІАЦІЯ ТА МІКРОБІОМ: ПЕРСПЕКТИВИ ПРОБІОТИЧНОЇ ТЕРАПІЇ

У сучасному світі застосування іонізуючого випромінювання залишається широко поширеним в різноманітних галузях, включаючи медицину, промисловість та ядерну енергетику, але разом з цим продовжують існувати й ризики радіаційних аварій чи терористичних актів. Ці та інші аспекти сприяють зростаючому забрудненню довкілля радіоактивними матеріалами та створюють потенційну загрозу шкідливого впливу на здоров'я фахівців певних груп і цивільного населення загалом¹. За цих обставин, залишається актуальним дослідження ефектів радіації на

¹ Talapko, J., Talapko, D., Katalinić, D., Kotris, I., Erić, I., Belić, D., Vasilj Mihaljević, M., Vasilj, A., Erić, S., Flam, J., Bekić, S., Matić, S., & Škrlec, I. (2024). Health Effects of Ionizing Radiation on the Human Body. *Medicina*, 60(4), 653. <https://doi.org/10.3390/medicina60040653>.

макроорганізм у взаємозв'язку з його екосистемою, що особливо важливо для пацієнтів, котрі проходять радіотерапію, для працівників задіяних у сфері атомної енергетики чи в зонах забруднених радіонуклідами, як-от Чорнобильська чи Фукусімська².

Відомо, що мікробіом людини активно бере участь у реалізації багатьох фундаментальних біологічних процесів, включаючи модуляцію гомеостатичних механізмів, ініціацію вродженого імунітету, продукування незамінних мікронутрієнтів, забезпечення резистентності до колонізації інфекційними патогенними та біотрансформацію різноманітних ксенобіотичних сполук³. Вплив γ -випромінювання провокує значні зміни у мікробному різноманітті та функціональній активності мікробіому, котрі опосередковуються певними ключовими взаємопов'язаними механізмами⁴. По-перше, відбувається пряме пошкодження мікробної ДНК: під дією іонізуючого випромінювання, в процесі радіолізу води, генеруються активні форми кисню і азоту (супероксиди, перекис водню, гідроксильні радикали), які спричиняють окислювальний стрес і пошкодження ДНК мікроорганізмів, ґрунтовно змінюючи склад мікробних спільнот⁵. До речі, насторожуючими є результати метагеномних досліджень, котрі свідчать про радіаційно-індуковані зміни у геномному складі мікробіому, що характеризуються зменшенням представленості генів, асоційованих з антивірусним та протизапальним захистом, та одночасним збільшенням генів антибіотикорезистентності⁶. Крім того, виявлено потенціал для горизонтального перенесення генетичного матеріалу між різними мікробними видами в умовах радіаційного стресу, включаючи гени стійкості до антибіотиків та гени, залучені до формування біоплівки, що може ускладню-

2 Lu, L., Li, F., Gao, Y., Kang, S., Li, J., & Guo, J. (2024). Microbiome in radiotherapy: an emerging approach to enhance treatment efficacy and reduce tissue injury. *Molecular Medicine*, 30.

3 Янковський, Д. С., Широбоков, В. П., Димент, Г. С. (2018). Мікробіом у фізіології людини. *Інфекційні хвороби*, 3(93). doi: 10.11603/1681-2727.2018.3.9407.

4 Maier, I. (2023). Radiation Impacts Microbiota Compositions That Activate Transforming Growth Factor-Beta Expression in the Small Intestine. *Microbiology Research*, 14(2), 673–688. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14020048>.

5 Moraitis, I., Guiu, J., & Rubert, J. (2023). Gut microbiota controlling radiation-induced enteritis and intestinal regeneration. *Trends in endocrinology and metabolism*: TEM, 34(8), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2023.05.006>; Kumagai, T., Rahman, F., & Smith, A. M. (2018). The Microbiome and Radiation Induced-Bowel Injury: Evidence for Potential Mechanistic Role in Disease Pathogenesis. *Nutrients*, 10(10), 1405. <https://doi.org/10.3390/nu10101405>.

6 Haider, A., Homlok, R., Farkas, C. M., & Kocsis, T. (2025). Characterizing Antimicrobial Effects of Radiation and Antibiotic Interactions on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* Using MALDI-TOF MS. *Antibiotics*, 14(1), 41. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14010041>.

вати терапевтичні стратегії⁷. По-друге, радіація безпосередньо руйнує клітини кишківника, як наслідок, порушується щільність з'єднання епітеліального бар'єру, що сприяє транслокації умовно-патогенних бактерій в нетипові для них екосистеми організму, в тому числі у кров, викликаючи системне запалення та подальше прогресування дисбіозу⁸. По-третє, дисбіотичні зміни мікробіому під впливом радіації ініціюють каскад запальних реакцій: підвищення рівня прозапальних цитокінів (TNF- α , IL-1 β , IL-6), зниження кількості протизапальних медіаторів, зміна функціонування імунних клітин тощо⁹. Вище наведене підтверджує багатофакторний механізм радіаційного пошкодження мікробіому, який може варіювати в залежності від типу, дози, тривалості та джерела опромінення, а також від індивідуальних особливостей організму¹⁰.

Таким чином, наслідки вражаючої дії іонізуючого випромінювання, можуть мати як локальні, так і системні негативні ефекти для макроорганізму та привести до розвитку радіаційно-індукованого дисбіозу (РІД) – стійкого чи тимчасового порушення балансу мікробіоти (головним чином кишкової)¹¹. Опромінення у високих дозах, призводить до суттєвого зменшення як внутрішньовидового, так і міжвидового різноманіття мікробіому, що проявляється втратою багатьох коменсальних видів. Найбільшу радіочутливість демонструють облигатні

- 7 Haider, A., Homlok, R., Farkas, C. M., & Kocsis, T. (2025). Characterizing Antimicrobial Effects of Radiation and Antibiotic Interactions on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* Using MALDI-TOF MS. *Antibiotics*, 14(1), 41. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14010041>; Zhou, S., Xiong, C., Su, Y., Wang, Y., Gao, Y., Tang, Z., Liu, B., Wu, Y., & Yi, D. (2022). Antibiotic-resistant bacteria and antibiotic resistance genes in uranium mine: Distribution and influencing factors. *Environmental Pollution*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119158>.
- 8 Kumagai, T., Rahman, F., & Smith, A. M. (2018). The Microbiome and Radiation Induced-Bowel Injury: Evidence for Potential Mechanistic Role in Disease Pathogenesis. *Nutrients*, 10(10), 1405. <https://doi.org/10.3390/nu10101405>.
- 9 Zhao, T. S., Xie, L. W., Cai, S., Xu, J. Y., Zhou, H., Tang, L. F., Yang, C., Fang, S., & Tian, Y. (2021). Dysbiosis of Gut Microbiota Is Associated With the Progression of Radiation-Induced Intestinal Injury and Is Alleviated by Oral Compound Probiotics in Mouse Model. *Front Cell Infect Microbiol.* 25(11). doi: 10.3389/fcimb.2021.717636; Touchefeu, Y., Montassier, E., Nieman, K., Gastinne, T., Potel, G., Bruley des Varannes, S., Le Vacon, F., & de La Cochetière, M. F. (2014). Systematic review: the role of the gut microbiota in chemotherapy- or radiation-induced gastrointestinal mucositis – current evidence and potential clinical applications. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 40(5), 409–421. <https://doi.org/10.1111/apt.12878>.
- 10 Touchefeu, Y., Montassier, E., Nieman, K., Gastinne, T., Potel, G., Bruley des Varannes, S., Le Vacon, F., & de La Cochetière, M. F. (2014). Systematic review: the role of the gut microbiota in chemotherapy- or radiation-induced gastrointestinal mucositis – current evidence and potential clinical applications. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 40(5), 409–421. <https://doi.org/10.1111/apt.12878>; Бобир, В. В., Назарчук, О. А., Палій, В. Г., Крижановська, А. В., Бобир, Н. А., Власенко, І. Г., Жемера, Н. А. (2023). Мікробіом людини та сучасні підходи до його збереження (аналітичний огляд) “Вісник Вінницького національного медичного університету”, 27(3), 495–500. doi: 10.31393/reports-vnmedical-2023-27(3)-23; Lu, Q., Liang, Y., Tian, S., Jin, J., Zhao, Y., & Fan, H. (2023). Radiation-Induced Intestinal Injury: Injury Mechanism and Potential Treatment Strategies. *Toxics*, 11(12), 1011. <https://doi.org/10.3390/toxics11121011>.
- 11 Lu, Q., Liang, Y., Tian, S., Jin, J., Zhao, Y., & Fan, H. (2023). Radiation-Induced Intestinal Injury: Injury Mechanism and Potential Treatment Strategies. *Toxics*, 11(12), 1011. <https://doi.org/10.3390/toxics11121011>.

анаероби, зокрема *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp, *Faecalibacterium prausnitzii*, водночас відзначається відносно збільшення частки умовно-патогенних та стійких до стресу бактерій, таких як *Enterococcus*, *Clostridium difficile*, *Proteobacteria*, разом з якими зростає загроза розвитку діарейного синдрому, ендотоксемії, порушення регуляції місцевого імунітету та міжмікробних сигнальних шляхів¹². Як підсумок, РІД змінює функціональну активність мікробіому, що проявляється порушенням метаболізму коротколанцюгових жирних кислот (бутирату, ацетату, пропіонату) та синтезу мікронутрієнтів, особливо вітамінів групи В, К, фолатів. Ці метаболіти відіграють критично важливу біологічну роль у фізіології кишківника, дефіцитні стани яких проявляються порушенням модуляції щільності кишкового бар'єру та посилення запальних процесів¹³. Тобто, радіаційно-індукований дисбіоз може сприяти розвитку гострого радіаційного гастроінтестинальному синдрому та інших ускладнень (радіаційний ентерит, коліт, діарея, виразкові ураження кишківника, імуносупресія, ризик бактеріємії, посилення побічних ефектів променевої терапії)¹⁴. Його системний вплив частіше проявляється метаболічними порушеннями (ожиріння, інсулінорезистентність), нейропсихологічними розладами та підвищенням ризику онкопатологій¹⁵.

На сьогодні, радіотерапія є найважливішим компонентом лікування раку, поряд із хірургією і хіміотерапією, тому активно вивчається здатність мікробних спільнот регулювати як ефективність променевої терапії, так і пов'язані з нею побічні ефекти¹⁶.

- 12 Helmink, B. A., Khan, M. A. W., & Hermann, A. The microbiome, cancer, and cancer therapy. *Nat Med* 25, 377–388 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0377-7>.
- 13 Venkidesh, B. S., Shankar, S. R., Narasimhamurthy, R. K., Sadashiva Rao S. B., & Mumbrekar K. D. (2023). Radioprotective potential of probiotics against gastrointestinal and neuronal toxicity: a preclinical study. *Clinical and Translational Oncology*, 25(11), 3165–3173.
- 14 Rau, S., Gregg, A., Yaceczko, S., & Limketkai, B. (2024). Prebiotics and Probiotics for Gastrointestinal Disorders. *Nutrients*, 16(6), 778. <https://doi.org/10.3390/nu16060778>.
- 15 Zhao, T. S., Xie, L. W., Cai, S., Xu, J. Y., Zhou, H., Tang, L. F., Yang, C., Fang, S., & Tian, Y. (2021). Dysbiosis of Gut Microbiota Is Associated With the Progression of Radiation-Induced Intestinal Injury and Is Alleviated by Oral Compound Probiotics in Mouse Model. *Front Cell Infect Microbiol.* 25(11). doi: 10.3389/fcimb.2021.717636; Helmink, B. A., Khan, M. A. W., & Hermann, A. The microbiome, cancer, and cancer therapy. *Nat Med* 25, 377–388 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0377-7>; Venkidesh, B. S., Shankar, S. R., Narasimhamurthy, R. K., Sadashiva Rao S. B., & Mumbrekar K. D. (2023). Radioprotective potential of probiotics against gastrointestinal and neuronal toxicity: a preclinical study. *Clinical and Translational Oncology*, 25(11), 3165–3173.
- 16 Maier, I. (2023). Radiation Impacts Microbiota Compositions That Activate Transforming Growth Factor-Beta Expression in the Small Intestine. *Microbiology Research*, 14(2), 673–688. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14020048>; Kumagai, T., Rahman, F., & Smith, A. M. (2018). The Microbiome and Radiation Induced-Bowel Injury: Evidence for Potential Mechanistic Role in Disease Pathogenesis. *Nutrients*, 10(10), 1405. <https://doi.org/10.3390/nu10101405>; Lu, Q., Liang, Y., Tian, S., Jin, J., Zhao, Y., & Fan, H. (2023). Radiation-Induced Intestinal Injury: Injury Mechanism and Potential Treatment Strategies. *Toxics*, 11(12), 1011. <https://doi.org/10.3390/toxics11121011>; Rau, S., Gregg, A., Yaceczko, S., & Limketkai, B. (2024). Prebiotics and Probiotics for Gastrointestinal Disorders. *Nutrients*, 16(6), 778. <https://doi.org/10.3390/nu16060778>.

Враховуючи встановлену здатність γ -променів індукувати дисбіотичні зміни мікробіому людини, пробіотична терапія представляє собою багатообіцяючий підхід до профілактики та корекції побічних ефектів променевого лікування, зокрема радіаційного гастроінтестинального синдрому¹⁷. Механізми протективної дії пробіотиків, у контексті радіотерапії, є багатогранними та включають відновлення еубіозу кишківника, пригнічення росту умовно-патогенних мікроорганізмів, посилення бар'єрної функції слизової оболонки, модуляцію місцевої та системної імунної відповіді, а також продукування метаболітів з протизапальними властивостями, особливо коротколанцюгових жирних кислот¹⁸. Терапевтичний потенціал такого підходу підкреслюють як результати численних доклінічних досліджень на моделях *in vivo*, котрі демонструють зниження проявів радіаційно-індукованого ентериту при застосуванні пробіотичних препаратів, так і дані клінічних досліджень, що показують кореляцію між тяжкістю дисбіозу кишкової мікробіоти та інтенсивністю симптомів радіаційної ентеропатії у онкохворих під час променевої терапії¹⁹. Розуміння цих складних взаємозв'язків має величезне значення для розробки нових стратегій підвищення ефективності протиракової терапії у прецизійній онкології.

Застосування окремо взятого пробіотичного штаму або асоціації різних видів, для профілактики діареї спричиненої радіацією, постійно вивчається і вдосконалюється. Представники *Bifidobacterium*, одного з домінуючих родів мікробіоти кишківника людини, викликають значний науковий інтерес як пробіотичні агенти. Ці перспективи обумовлені, зокрема, характерним метаболізмом вуглеводів, адже під впливом метаболічної активності біфідобактерій олігосахариди трансформуються у коротколанцюгові жирні кислоти, що мають значні імуномодулюючі, нейрогормональні та протизапальні властивості²⁰. Застосування комплексних

- 17 Toucheffeu, Y., Montassier, E., Nieman, K., Gastinne, T., Potel, G., Bruley des Varannes, S., Le Vacon, F., & de La Cochetière, M. F. (2014). Systematic review: the role of the gut microbiota in chemotherapy- or radiation-induced gastrointestinal mucositis – current evidence and potential clinical applications. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 40(5), 409–421. <https://doi.org/10.1111/apt.12878>; Lu, Q., Liang, Y., Tian, S., Jin, J., Zhao, Y., & Fan, H. (2023). Radiation-Induced Intestinal Injury: Injury Mechanism and Potential Treatment Strategies. *Toxics*, 11(12), 1011. <https://doi.org/10.3390/toxics11121011>.
- 18 Liu, M. M., Li, S. T., Shu, Y., & Zhan, H. Q. (2017). Probiotics for prevention of radiation-induced diarrhea: A meta-analysis of randomized controlled trials. *PLOS ONE*, 12(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178870>.
- 19 Liu, M. M., Li, S. T., Shu, Y., & Zhan, H. Q. (2017). Probiotics for prevention of radiation-induced diarrhea: A meta-analysis of randomized controlled trials. *PLOS ONE*, 12(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178870>; Demers, M., Dagnault, A., & Desjardins, J. (2014). A randomized double-blind controlled trial: impact of probiotics on diarrhea in patients treated with pelvic radiation. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 33(5), 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.10.015>
- 20 Bartsch, B., Then, C. K., Harriss, E., Kartsonaki, C., & Kiltie, A. E. (2021). The role of dietary supplements, including probiotics, glutamine, polyunsaturated fatty acids and polyphenols, in reducing gastrointestinal side effects in patients

біопрепаратів, які містять штами *Lactobacillus* (зокрема *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*) та *Bifidobacterium bifidum* у дозуванні від 109-1012 КУО/г, демонстрували потенціал у збереженні цілісності слизової оболонки та зниженні радіаційно-індукованих уражень кишківника²¹. Ефективність пробіотичної інтервенції була найбільш вираженою при превентивному застосуванні до початку та протягом всього курсу променевої терапії, що сприяло кращому відновленню клітин травної системи та поліпшенню стану здоров'я у пацієнтів, порівняно з контрольною групою²². Вчені припускають, що пробіотики здатні знижувати шкідливий вплив навіть при отриманні значно більшої дози радіаційного опромінення, ніж під час променевої терапії. Проте, ефективність пробіотикотерапії у профілактиці бактеріємії, спричиненої грамнегативними бактеріями, ендотоксинемії та ймовірності ранньої смерті потребує подальшого дослідження²³.

Таким чином, радіаційно-індукований дисбіоз – не лише локальне порушення мікробіоти кишківника, а системна проблема, що впливає на цілісність імунної, травної, нервової та ендокринної систем та вимагає всебічного розуміння наслідків впливу радіації на всі рівні біологічної організації. Для повної реалізації потенціалу пробіотиків як ефективного інструменту нівелювання побічних ефектів радіотерапії та підвищення якості життя онкологічних пацієнтів необхідні подальші фундаментальні та клінічні дослідження, спрямовані на ідентифікацію оптимальних штамів та компонентів про-, пре- та синбіотичних препаратів, розробку адекватних дозувань та схем їхнього застосування в контексті протоколів променевої терапії онкологічних захворювань різної локалізації.

undergoing pelvic radiotherapy: A systematic review and meta-analysis. *Clinical and translational radiation oncology*, 29, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2021.04.006>.

- 21 Demers, M., Dagnault, A., & Desjardins, J. (2014). A randomized double-blind controlled trial: impact of probiotics on diarrhea in patients treated with pelvic radiation. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 33(5), 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.10.015>; Bartsch, B., Then, C. K., Harriss, E., Kartsonaki, C., & Kiltie, A. E. (2021). The role of dietary supplements, including biotics, glutamine, polyunsaturated fatty acids and polyphenols, in reducing gastrointestinal side effects in patients undergoing pelvic radiotherapy: A systematic review and meta-analysis. *Clinical and translational radiation oncology*, 29, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2021.04.006>; Ahren, I. L., Bjurberg, M., Steineck, G., & Jeppsson, B. (2023). Decreasing the Adverse Effects in Pelvic Radiation Therapy: A Randomized Controlled Trial Evaluating the Use of Probiotics. *Advances in Radiation Oncology*, 8(1). DOI: 10.1016/j.adro.2022.101089.
- 22 Bartsch, B., Then, C. K., Harriss, E., Kartsonaki, C., & Kiltie, A. E. (2021). The role of dietary supplements, including biotics, glutamine, polyunsaturated fatty acids and polyphenols, in reducing gastrointestinal side effects in patients undergoing pelvic radiotherapy: A systematic review and meta-analysis. *Clinical and translational radiation oncology*, 29, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2021.04.006>; Ahren, I. L., Bjurberg, M., Steineck, G., & Jeppsson, B. (2023). Decreasing the Adverse Effects in Pelvic Radiation Therapy: A Randomized Controlled Trial Evaluating the Use of Probiotics. *Advances in Radiation Oncology*, 8(1). DOI: 10.1016/j.adro.2022.101089.
- 23 Kim, Y. J., Yu, J., & Park, S. P. (2021). Prevention of radiotherapy induced enteropathy by probiotics (PREP): protocol for a double-blind randomized placebo-controlled trial. *BMC Cancer* 21, 1032. <https://doi.org/10.1186/s12885-021-08757-w>

Evgen SHEPETKO,

Doctor of Medical Sciences, Professor,
Academician of the UTA,
Professor of the Department of Surgery № 1
of the Kyiv Medical University
ORCID ID: 0000-0002-8186-4024

Denis GARMASH,

surgeon of the Department of Surgery № 1 of the
Kiev City Medical Hospital № 12

Svitlana BURBURSKA,

PhD, Head CEO LLC “Osteonica”, Kyiv
ORCID ID: 0000-0002-1486-613X

Maxim BILYACHENKO,

PhD, surgeon of the Innovative Surgical
Center “Adonis – Lab SP”, Kyiv
ORCID ID: 0000-0001-6405-2502

Anastasia YASNA,

intern doctor of the Department of Surgery №1 of
the Kyiv Medical University
Ukraine

TOTAL GASTRECTOMY WITH JEJUNOGASTROPLASTY IN SURGICAL TREATMENT OF ACUTE BLEEDING GASTRIC CANCER. WAYS TO IMPROVE THE RESULTS

Background. Surgical treatment of gastric cancer complicated by gastrointestinal bleeding remains a pressing issue not only in oncology but also in emergency abdominal surgery.

In recent decades, there has been a global trend toward a decrease in the incidence of gastric cancer among the population.¹ At the same time, according to leading centers for the treatment of gastrointestinal bleeding, the frequency of bleeding gastric cancer cases is showing an upward trend.²

1 Leja, M. (2024). Where are we with gastric cancer screening in Europe in 2024? Gut. Advance online publication. URL: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2024-332705>

2 Shepetko, E., Fomin, P., Garmash, D., Kozak, Y., Koshman, I., Azarenkov, A., & Muzychuk, B. (2019). Surgical technologies of reconstructive jejunogastroplasty after total gastrectomy. In Proceedings of the 13th International Gastric Cancer Congress (P.07-462). Prague, Czech Republic.

Currently, one of the main radical surgical interventions for the treatment of bleeding gastric cancer is total gastrectomy (TG) with lymphadenectomy. However, long-term observations from leading clinics around the world indicate a rather high incidence of pathological syndromes such as dumping syndrome, jejunoesophageal reflux, agastric asthenia, anemia, critical weight loss, hypovitaminosis, and others – reaching up to 42 % after both open³ and laparoscopic surgical procedures⁴.

The diagnosis of these pathological syndromes, the implementation of modern technologies, and the introduction of measures aimed at alleviating or eliminating them define the future direction for improving the functional outcomes of TG⁵, alongside reducing postoperative mortality⁶.

At present, new technologies (universal coagulators, stapling devices)⁷, reconstructive surgical techniques involving the creation of artificial reservoirs (jejunogastroplasty) (JGP)⁸, and computer technologies with 3D reconstruction and modeling⁹ are actively being developed and applied. These advances open up prospects for further improvement in the outcomes of TG in surgical treatment of gastric cancer, which remains an extremely relevant issue today.

- 3 Shalimov, A. A., & Sayenko, V. F. (1987). Surgery of gastrointestinal tract. (568 p.). Kyiv: Health. Ukraine.
- 4 Kim, A. (2019). Introduction of modified ab-oral pouch to prevent jejunojejunostomy stricture after total gastrectomy for gastric cancer patients. In 13th International Gastric Cancer Congress, May 8–11 (P.07-365-Fri). Prague, Czech Republic.
- 5 Tanaka, C., Kanda, M., Yoshikawa, T., Cho, H., Ito, Y., Matsui, T., Nakayama, H., Yamada, T., Kobayashi, D., & Kodera, Y. (2019). Long-term quality of life and nutrition status of the aboral pouch reconstruction after total gastrectomy for gastric cancer. In 13th International Gastric Cancer Congress, May 8–11 (P.07-474-Fri). Prague, Czech Republic.
- 6 Norero, E., Ceroni, M., Martinez, C., Muñoz, R., Mejía, R., Morales, E., Obaid, I., & Gonzalez, P. (2024). Long-term survival after laparoscopic total gastrectomy for early and advanced gastric cancer. Single center experience in 100 cases. ABCD Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva, 37, e1844. URL: <https://doi.org/10.1590/0102-6720202400050e1844>.
- 7 Chinnusamy, P., Ramakrishnan, P., Senthinathan, S. R. P., Raj, P., & Natarajan, R. (2017). Total laparoscopic reconstruction using J-pouch and linear stapling technique following total gastrectomy. In 12th International Gastric Cancer Congress, April 20–23 (p. 92). Beijing, China.
- 8 Tanaka, C., Kanda, M., Yoshikawa, T., Cho, H., Ito, Y., Matsui, T., Nakayama, H., Yamada, T., Kobayashi, D., & Kodera, Y. (2019). Long-term quality of life and nutrition status of the aboral pouch reconstruction after total gastrectomy for gastric cancer. In 13th International Gastric Cancer Congress, May 8–11 (P.07-474-Fri). Prague, Czech Republic. ; Costa, L. C. da S., Macedo, A. A. de C., Araújo, J. M., Silva, E. L. da, Moraes, L. F. G. R. de, Santos, A. dos, Soares, H. G., Terciotti Junior, V., Coelho Neto, J. de S., Andreollo, N. A., & Lopes, L. R. (2024). Are there advantages in double transit reconstruction after total gastrectomy in patients with gastric cancer? A systematic review. ABCD Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva, 37, e1799. URL: <https://doi.org/10.1590/0102-672020240006e1799>; Babenkov, G. D. (2015). Combined esophagojejunoduodenoplasty in the prevention and treatment of complications of total gastrectomy. In XXIII Congress of Surgeons of Ukraine [Electronic resource]: Collection of scientific works (pp. 36–37). Kyiv: Klinichna Khirurgiya. Ukraine; Dong, T.-X., Wang, D., Zhao, Q., Zhang, Z.-D., Zhao, X.-F., Tan, B.-B., Liu, Y., Liu, Q.-W., Liu, P.-G., Ding, P.-A., Zheng, T., Li, Y., & Liu, Z.-J. (2024). Comparative analysis of two digestive tract reconstruction methods in total laparoscopic radical total gastrectomy. World Journal of Gastrointestinal Surgery, 16(4), 1109–1120. URL: <https://doi.org/10.4240/wjgs.v16.i4.1109>; Ikeda, M., Ueda, T., Ohashi, Y., & Nanami, T. (2009). Evaluation of nerve preservation in the jejunal pouch interposition after total gastrectomy. In 8th International Gastric Cancer Congress, June 10–13 (p. 42). Kraków, Poland.
- 9 Kurenov, S.N. [et al.] (2015). Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 149, (4), 973-979.

Aims. To improve the results of surgical treatment of acute bleeding gastric cancer using TG and JGP with the formation of an artificial intestinal reservoir (artificial stomach).

Materials & Methods. The results of 246 TG over three periods were analyzed: period I (1983–1999) – 147 patients; period II (2000–2010) – 71 patients; period III (2011–2023) – 28 patients.

Acute bleeding gastric cancer was observed in 170 patients. Surgery for acute bleeding gastric cancer was mainly performed in the delayed period after bleeding had stopped (93 %). Isolated TG was performed in 186 patients (75.6 %), while combined procedures, including resection of the body or tail of the pancreas, tangential pancreatic resection, splenectomy and resection of segments of the right and left liver lobes, were performed in 60 patients (24.4 %)(table 1).

The formation of an artificial intestinal reservoir (JGP) to improve the functional results of TG was performed in 31 patients (manually in 3, hardware in 28) with the inclusion of the duodenum in 39 %.

Table 1

Total Gastrectomies

Source: Author's research.

Type of Surgery	Combined	Isolated	Total
TG (GIB)	31	101	132
TG (ES)	18	51	69
JGP	9	22	31
Extirpation of the stomach stump (GIB)	-	7	7
Extirpation of the stomach stump (ES)	2	5	7
Total	60 (24,4 %)	186 (75,6 %)	246 (100 %)

*Note: TG – total gastrectomy; JGP – jejunogastroplasty;
GIB – gastrointestinal bleeding; ES – elective surgery.*

CT – modeling with 3D reconstruction was performed in three patients who underwent GE with JGP (artificial stomach) with the inclusion of the duodenum. The visualization and location of the artificial small intestinal reservoir was determined by creating its volumetric model, taking into account the spatial location of the great vessels and nerves, followed by printing the model on a

3D printer. To create an individual mock-up prototype (model), the FDM (Fused Deposition Modeling) technology is applied – modeling by the fused deposition method.

Results. A significant reduction in postoperative mortality was observed across the study periods, decreasing from 19 % in period I to 2.8 % in period II (a 6.8-fold reduction, $p = 0.0023$; $\chi^2 = 9.288$; $p < 0.05$), with no fatal cases in period III.

Mortality after isolated TG (10.2 %) was 1.8 times lower than after combined procedures (18.3 %) ($p = 0.1495$; $\chi^2 = 2.078$; $p > 0.05$).

To improve the functional results of TG in the postoperative period and prevent post-gastrectomy syndromes in 31 patients modern technologies were used (ultrasonic scalpel, PatonMed welding machine, circular and linear staplers) and various options for forming the JGP were developed: 1) artificial intestinal reservoir from a triple loop of jejunum (triple anastomosis) on an off-line Roux-en-Y loop (14.6 %); 2) Ω -loop JGP by suturing the afferent and efferent loops of the jejunum with a manual or hardware suture with the formation of a distal entero-enteroanastomosis by Brown (46.3 %); 3) J-pouch interposition – an artificial intestinal reservoir (JGP) located between the esophagus and duodenum (39 %).

In order to improve the functional results of the performed TG and JGP, the method of CT-modeling and reconstruction was used with the creation of a virtual model of the JGP followed by printing the model on a 3D printer. The use of 3D CT-modeling and reconstruction makes it possible to regulate the volume of the intestinal reservoir, determine its position in relation to the internal organs (syntopy and skeletotopy), and prevent post-gastrectomy syndromes (dumping syndrome, severe jejunoesophageal reflux, agastric asthenia and anemia, critical weight loss) in the postoperative period.

In the vast majority of cases (28 out of 31) JGP was performed using circular and linear staplers, which significantly accelerated the execution of this complex surgical procedure. In addition to TG and D2 lymphadenectomy, it was also necessary to create an artificial small intestinal reservoir and integrate it into the gastrointestinal tract in various configurations—either including or excluding the duodenum.

The formed artificial small intestinal reservoir promotes faster weight gain in the patient, correction of anemia, has anti-dumping and anti-reflux prop-

erties, simulates the reservoir function of the lost stomach and improves the quality of life of patients in the long-term postoperative period.

Conclusions:

1. The use of modern technologies (ultrasonic scalpel, PatonMed welding device, circular and linear staplers) enables the surgical treatment of gastric cancer, including acute bleeding cases, through delayed TG with the formation of an artificial small intestinal reservoir, reducing postoperative mortality by 6.8 times.
2. The functional outcomes of TG with JGP were superior, particularly after modification of the procedure to include the duodenum in the digestive transit.
3. 3D CT reconstruction and modeling improve long-term outcomes of TG with artificial small intestinal reservoir formation (JGP) and help prevent post-gastrectomy syndromes (dumping syndrome, severe jejunoesophageal reflux, agastric asthenia and anemia, and critical weight loss) in the late postoperative period.



Pharmacy

ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна,
доктор фармацевтичних наук, професор,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця, м. Київ
ORCID ID: 0000-0001-7023-8493

НІЖЕНКОВСЬКА Ірина Володимирівна,
доктор медичних наук, професор,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця, м. Київ
ORCID ID: 0000-0001-5065-3147
Україна

ТЕХНОГЕННІ КАТАСТРОФИ: НАПРЯМКИ ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КСЕНОБІОТИКІВ

Техногенні катастрофи супроводжуються вивільненням токсичних речовин (важких металів, отруйних газів, бойових отруйних речовин), руйнуваннями, вибухами, небезпечними збоями у роботі промислових об'єктів, АЕС тощо. Для підтвердження факту отруєння людини та надання першої допомоги постраждалому від отрути використовують методи хіміко-токсикологічного аналізу, головним завданням якого є якісне виявлення та кількісне визначення ксенобіотиків. Важливим етапом виконання таких досліджень є коректно підібрані методи ізолювання токсикантів із об'єктів дослідження. Оскільки токсиканти можуть бути за хімічним складом комбінованими, методи їх ізолювання, також, використовують у поєднанні – метод мінералізації для «металічних отрут», наприклад, комбінується з методом екстракції із органічними розчинниками, якщо об'єктом дослідження є металоорганічні сполуки.

Ксенобіотики – це сполуки, які потрапляють до організму ззовні і не синтезуються в організмі. До ксенобіотиків відносять пестициди, важкі метали, лікарські засоби, забруднювачі навколишнього сере-

довища, вуглеводні, синтетичні полімери, масляні суміші тощо¹. Ксенобіотики накопичуються в навколишньому середовищі, в результаті чого посилюється їхній згубний вплив на екосистеми та здоров'я населення. Всі перераховані фактори роблять необхідним удосконалення методів вивчення ксенобіотиків. Крім хімічних та фізико-хімічних методів часто використовують сучасні біологічні методи – біоремедіацію з використанням бактерій і рослин для детоксикації ксенобіотиків; наномедіацію, фіторемедіацію та ремедіацію за допомогою мікробів – для видалення стійких забруднювачів та збереження екологічного балансу. Всі перераховані методи відносяться до гібридних. Для проведення хіміко-токсикологічних досліджень об'єктів важливим є систематичний хіміко-токсикологічний аналіз (SCTA). Він дозволяє ідентифікувати одночасно велику кількість токсикологічно значущих сполук та ґрунтується на використанні комплексу дослідження. В арсеналі хіміко-токсикологічного аналізу присутні хімічні та фізико-хімічні (інструментальні) методи, деякі із них використовують у комбінації: газова хромато-мас-спектрометрія (GC-MS), рідинна хроматографія-мас-спектрометрія (LC-MS) тощо². SCTA вимагає певної стратегії виконання дослідження з паралельним використанням або комбінацією аналітичних методів³.

Під час цілеспрямованого скринінгу зразків та визначення токсикантів використовують методи LC-MS у тандемі з headspace (HS)-GC-MS, HS-GC-полум'яно-іонізаційним детектором. Аналізу підлягає широкий спектр речовин із різноманітними фізико-хімічними властивостями.

- 1 Qadir A., Hashmi M. Z., Mahmood A. Xenobiotics, Types, and Mode of Action. In: Hashmi, M. Z., Kumar, V., and Varna, A., Eds. *Xenobiotics in the Soil Environment. Monitoring, Toxicity and Management*. Cham: Springer International Publishing AG. 2017. P. 1-7; Abdelbary K., Ali M., Abdelfatah A. New Biofilter Media for Heavy Metals Removal From Aquaculture Wastewater. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 2022.0(0). <https://doi.org/10.21608/mjae.2022.174352.1091>; Abdel-Shafy H. I., Mansour M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2015. Vol.25. № 1. P.107–123.
- 2 Ahmad A., Das S., Ghangrekar M. M. Removal of xenobiotics from wastewater by electrocoagulation: A mini-review. *Journal of the Indian Chemical Society* 2020. Vol. 97. № 4. P. 493–500; Nizhenkovskaya I., Welchinskaya E. Modern integration into the worldwide education process on the example of the Toxicological chemistry discipline under the influence of the Bologna system in Ukraine. *CBU International Conference Proceedings*, Prague. 2013. Vol. 1. P. 296–301.
- 3 Sheikh A.A. Analysis of Heavy Metals in some selected vegetables by AAS method. *Our Heritage*. 2020. № 38. P. 984–998; Balaram V., Mathur R., Satyanarayanan M., Sawant S.S. et al. A Rapid Method for the Determination of Gold in Rocks, Ores and Other Geological Materials by F-AAS and GF-AAS After Separation and Preconcentration by DIBK Extraction for Prospecting Studies. *APAN-Journal of Metrology Society of India*. 2012. Vol.27. № 2. P. 87–95; Welchinskaya H., Piecuszak B., Kovalenko E., Sharykina N., Getman K., Podgorsky V. Biological activity of bacterial lectins and their molecular complexes with heterocyclic bis-adducts. *Journal of Microbiology*. 2003. Vol.65. № 6. P. 20–25.

Не кожен отруйну речовину можна ідентифікувати навіть за допомогою комплексної стратегії SCTA, оскільки методи аналізу характеризуються різним ступенем чутливості, специфічності та іноді не можуть забезпечити очікуваного результату.

Актуальним методом аналізу важких металів у хіміко-токсикологічному аналізі є метод атомно-абсорбційної спектrometerії (AAS), який ґрунтується на поглинанні світла вільними атомами та має специфічний для елементів набір рівнів електронної енергії. Він використовується для кількісного визначення хімічних компонентів або концентрації металів у різних формах зразків. Межа виявлення в методі AAS в полум'ї або графітовій печі – це найменша кількість аналіту. Високої інтенсивності світла досягають за допомогою електродних газорозрядних ламп (EDL), але вони можуть ускладнити процес та доступні для визначення небагатьох елементів (As, Bi, Cd, Cs, Ge, Hg, P, Pb, Sb, Rb, Se, Sn, Te, Tl і Zn).

На фармацевтичному факультеті Національного медичного університету імені О.О. Богомольця в восьмому семестрі навчання викладають дисципліну «Токсикологічна та судова хімія». Студенти вивчають методи ізолювання із досліджуваних об'єктів різного походження (біологічний матеріал, ґрунт, вода, речові докази), токсикологічне значення та симптоми отруєння, метаболізм, якісне виявлення та кількісне визначення отрут.

Особливо актуальним для вивчення під час воєнних дій є клас отруйних речовин «металічні отрути», оскільки під час вибухів вивільняється велика кількість важких металів та їх сполучань – складових пороху та токсиканів, які викликають отруєння і смерть людей⁴.

Ознайомлення із методом AAS та його комбінаціями є важливим при підготовці студентів, оскільки перед ними відкриваються перспективи роботи не тільки в лабораторіях контролю якості лікарських засобів, але й у хіміко-токсикологічних лабораторіях.

Необхідно звернути увагу на те, що останнім часом у практиці хіміко-токсикологічного аналізу частіше використовують комбінацію

⁴ Welchinska E.V. Toxicological and forensic chemistry (criminal analysis). Poisonous substances and their biotransformation. Kyiv: PE Lopatina O.O. 2017. 392 p.; Ніженковська І.В., Вельчинська О.В., Кучер М.М. (2020). Токсикологічна хімія: підручник. Київ: ВСВ «Медицина», 3-видання, 2020. 372 с. + XII с. <http://ir.librarynmu.com/handle/123456789/9125>.

сучасних інструментальних методів, які дозволяють швидко отримати результати. Це підвищує якість і результативність дослідження.

Використовують комбінацію оптичної емісійної спектrometerії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-ОЕС) або плазмену атомно-емісійну спектrometerію (ІЗП-АЕС), мас-спектrometerію з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). ІЗП-ОЕС та ІЗП-АЕС використовують для виявлення мікроелементів в біологічних об'єктах.

Позитивними характеристиками цих методів є висока швидкість аналізу, практично відсутні проблеми з хімічними або іонізаційно-спектральними перешкодами порівняно з методом ААС, для аналізу достатнім є малий об'єм розчину зразку (1-2 мл), широкий лінійний діапазон калібрування (більше 6-ти порядків).

Недоліками цих методів є наступні: межі виявлення недостатні для відкриття деяких елементів в біозразках (As, Se, Pb), висока вартість аналізу, перешкоди від спектральних накладень або впливу матриці.

Серьозним досягненням в ррт-області при вивченні біологічних зразків став метод ІЗП-МС, який дозволяє реєструвати окремі іони ізотопів. Для деяких елементів межі виявлення сягають до сотен долей нанограмів на 1 л, який може містити більше 70 елементів у одній пробі.

Метод ІЗП-МС характеризується широким лінійним діапазоном калібрування (більше 9-ти порядків), малим об'ємом розчину зразку (1-2 мл). Він дозволяє виконувати дослідження метаболізму токсикантів з використанням стабільних ізотопно-змінених сумішей та встановлювати дефіцит або надлишок елемента в організмі людини. Даний метод є важливим для медико-біологічних досліджень, але він унеможлиблює виявлення металу Ві та його сполук.

В методах ААС і ІЗП-МС лінійна залежність з коефіцієнтом кореляції не менше ніж 0,99 зберігається в інтервалах 0-25 нг/мл (мг) і 0-250 нг/мл (мг). Це залежить від природи елемента, типу біологічного об'єкта. Лабораторні похибки можуть складати від 5 % до 10 %.

Крім вказаних методів, які важливо впроваджувати у хіміко-токсикологічний аналіз, перспективними методами є, також, рентгено-флуоресцентний аналіз (РФА), нейтроно-активаційний аналіз (НАА), гамма-резонансна спектrometerія (Мессбауера), які є більш чутливими та високоселективними та потребують імплементації у хіміко-токсикологічний аналіз.

Таким чином, для підтвердження факту отруєння людей та надання першої допомоги постраждалим від отрут – ксенобіотиків, в тому числі й «металічних отрут», виконують систематичний хіміко-токсикологічний аналіз (SCTA), який дозволяє ідентифікувати одночасно значну кількість отруйних речовин.

AAC – це інструментальний метод, який використовується частіше в практиці SCTA для виявлення «металічних отрут». Вивчення методу AAC є важливим компонентом у засвоєнні студентами навчальних матеріалів щодо класу «металічних отрут».

Актуальним завданням є впровадження у практику хіміко-токсикологічного аналізу комбінованих методів ІЗП-ОЕС, ІЗП-АЕС, ІЗП-МС, РФА, НАА, ГРС (Мессбауера). Тому, розширення переліку сучасних та високоефективних методів визначення отрут у програмі навчальної дисципліни «Токсикологічна та судова хімія» якісно підвищать теоретичний рівень знань майбутніх фармацевтів.

Nataliia MYKHALCHUK,

Dr. in Psychology, Professor,
Rivne State University of the Humanities, Rivne (Ukraine)
ORCID ID: 0000-0003-0492-9450

Yevhen KHARCHENKO,

Doctor in Medicine, Professor,
Rivne Medical Academy, Rivne (Ukraine)
ORCID ID: 0000-0002-4340-8503

Eduard IVASHKEVYCH,

Doctor of Psychology, Professor,
Rivne State University of the Humanities, Rivne (Ukraine)
ORCID ID: 0000-0003-0376-4615

Ernest IVASHKEVYCH,

PhD in Psychology,
Rivne State University of the Humanities, Rivne (Ukraine)
ORCID ID: 0000-0001-7219-1086

PHYLOSOFICAL AND PSYCHOLOGICAL MECHANISM OF SOCIO-ECONOMIC REHABILITATION OF THE AFFECTED TERRITORIES OF KYIV REGION AS THE RESULY OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

More than 30 years have passed since the Chernobyl accident on April 26, 1986. During this time, local authorities in Kyiv region, as well as ministries and departments of Ukraine, have carried out a great deal of activities to eliminate the consequences of the unprecedented catastrophe. Not only was the planned evacuation of residents from contaminated areas carried out, but new well-appointed rural settlements were gradually created outside the radioactive contamination zone.

Many residents of the villages of Kyiv region have been evacuated and live in ecologically clean places and settlements. In addition, in the radioactive contamination zone of Kyiv region in the first years of this period, a complete decontamination of all residential, public, administrative and

business buildings were carried out, a large amount of work was carried out to improve settlements in order to create normal living conditions for all people in Ukraine.

At the same time, a set of effective agro-meliorative and agrochemical measures have been carried out here, and the delivery of clean food products was organized and practiced for the population. However, the radiation situation in the Chernobyl zone remains difficult. The density of soil contamination with radionuclides, in particular, cesium-137, the most common in the region, in some areas exceeds the minimum level. The above determines the relevance of this research.

So, the object of our research is the economic mechanism of socio-economic rehabilitation of the affected territories of Kyiv region as the result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

The aim of our research is to consider the mechanism of nature management in the territories of Kyiv region contaminated with radionuclides and, on this basis, to develop proposals for its improvement. In conducting the research of our topic, the methods of deduction, comparative and economic analysis, the dialectical method of cognition, the system approach, and a number of other methods were used. Based on the relevance of our topic and the degree of its development, the following goal was set in this research: to conduct the analysis of socio-economic development of the territories of Kiev region affected by the Chernobyl accident and to develop, on the basis of its results, proposals for improving the economic mechanism for the rehabilitation of the affected territories of this region.

The elements of scientific novelty of obtained results it is the justification of stimulation of rehabilitation of territories contaminated with radionuclides by using technical and economic potential of Kyiv region. The area of possible practical application is the mechanism of rehabilitation of territories contaminated with radionuclides both in Ukraine and other countries.

Based on the stated goal, the objectives of this research there are:

- conducting the analysis of socio-economic development of the territories of Kiev region affected by the Chernobyl accident;
- providing the analysis and conducting the assessment of the effectiveness of the current economic mechanism for the socio-economic rehabilitation of the affected territories of the Mogilev region;

- developing proposals for improving the economic mechanism for managing natural resources in the territories of the Mogilev region contaminated with radionuclides.
- The main methods of studying the problems of rehabilitation of contaminated territories there are: the analysis and synthesis, induction and deduction, economic and mathematical modeling. Analysis involves breaking down the entire process into some main separate elements. Synthesis means combining the decomposed elements of the studied object into a single whole or a new organizational system. The analysis and synthesis are inextricably linked when studying the problems of the economics of nature management.

General methods of cognition in Science there are methods of the induction and deduction. Induction allows us obtaining new scientific knowledge based on generalization of facts. Deduction makes us possible to obtain scientific conclusions according to the laws of logic. The inductive (empirical) method explains the past: from some concrete facts to absolutely new knowledge, from some concrete results to the cause, from practice to theory. The deductive (theoretical) method serves us to design the future: from causes to results, from theory to forecasts of the development of the rehabilitation mechanism. These research methods are widely used in scientific and practical activities of scientists and specialists in different fields.

The scientific novelty of the research also lies in the theoretical substantiation and development on this basis of recommendations for the use of the technical and economic potential of Kyiv region as a stimulating factor in the rehabilitation of contaminated territories. The regulatory framework for this research was provided by electronic resources containing legislative and regulatory acts of Ukraine concerning the regulation of the mechanism of nature management in territories contaminated with radionuclides.

So, let us do the analysis of the socio-economic development of the regions affected by the Chernobyl disaster. According to calculations carried out by scientists, the total damage caused to Ukraine by the Chernobyl disaster, calculated for a 30-year period of overcoming it, and it is estimated at 255 billion US dollars, which is 33 times the republic's budget for 1985. The structure of the economic and social damage to Ukraine from the Chernobyl

disaster by types of losses and objects of the national economic complex is presented by us in such figures. So, the additional costs associated with maintaining production and implementing protective measures, is 201,8 billion US dollars. Direct and indirect losses there are 32,6 billion US dollars. Lost Profits there are 15,4 billion US dollars.

A significant share of the economic damage inflicted on Ukraine falls on Kyiv region and affects all sectors of the region's economy. The contaminated areas of Kyiv region are mainly concentrated in light and food industry enterprises. They make up 75,6 % of the total number of industrial facilities. At the same time, it should be noted that in Kyiv region, a tendency towards a reduction in the number of industrial enterprises has emerged in contaminated areas. The most significant reduction in enterprises occurred in mechanical engineering (32,9 %), light industry (44,3 %), and in the food industry (22,8 %). In mechanical engineering and metalworking, machinery repair facilities in the agricultural system have left the zone of radioactive contamination¹.

The reduction in the number of enterprises located in the radioactive contamination zone in Kyiv region also occurred due to the cessation of economic activity in the most radiation-contaminated settlements. For example, light industry enterprises, such as Kyiv flax mill ceased their activities due to the withdrawal of flax crops from agricultural circulation.

In Kiev region, large industrial enterprises were slightly exposed to radioactive contamination. Small and medium-sized enterprises located in the southeastern part of Kiev region suffered mainly. Moreover, these enterprises are engaged in the processing of agricultural raw materials, as well as the repair of agricultural machinery, and the provision of services to the population. From the moment of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and until the 1990s, enterprises worked in a strict regime, increasing production volumes. For example, the volume of commercial output in 1990 exceeded the level of 1985 by 42,3 %. Moreover, in the zone from 1 to 5 Ci / sq. km, the growth of commercial output was 667,9 %. Analyzing the activities of enterprises located in the radioactive zone in 1996, it should be noted that the volume of commercial output decreased by

¹ WHO (World Health Organization) (2005). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Available: [http://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/chernobyl/-EGH %20Master %20file %202005.08.24.pdf](http://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/chernobyl/-EGH%20Master%20file%202005.08.24.pdf) [accessed 20 February 2006].

3,1 times compared to 1985, and in the zone from 5 to 15 Ci / sq. km – also by 4,7 times.

The reduction in production volumes is caused not only by the impact of radioactive contamination, but also by the low competitiveness of manufactured products and the lack of the necessary volume of working capital. The problem of product sales remains acute, although certain changes have been outlined in the connection with the efforts having been made in the direction of increasing the share of product sales in relation to the volume of production. Due to difficulties in product sales, there is no fundamental improvement in the financial condition of enterprises. The growth of production and sales costs outpaces the growth of nominal revenue, which leads to a decrease in the profitability of enterprises. As a result, significant structural changes have occurred in the number of people employed in various sectors of industrial production in contaminated areas. In general, the number of industrial and production personnel at enterprises located in the radioactive zone has decreased by more than 3,5 times compared to 1985. The number of people employed in mechanical engineering and metalworking has decreased especially significantly – by 8,2 times, light industry – by 5,5 times, building materials industry – by 8,2 times, food industry – by 4,8 times.

The share of forestry losses in the total damage caused to the republic by the Chernobyl accident amounts to only 4,9 %. This figure is quite high for the industry and has a significant impact on the socio-economic development of forestry enterprises. It should be noted that annual expenses for the organization and management of forestry are decreasing while losses in the industry are increasing, and over the past ten years, annual forestry expenses (in dollar terms) have decreased by 2,9 times, while losses over this period have increased by 3,2 times. The difference between them has also changed significantly. If in 1986–1990, losses exceeded expenses by 3,4 times, then in 1997, the damage exceeded forestry expenses by 7,9 times. Significant areas of forests are contaminated in Kyiv region, 478,1 thousand hectares (45,8 % of the total forest area of this region)².

2 UNSCEAR (2000). Annex J.: Exposures and effects of the Chernobyl accident. In: Sources and Effects of Ionising Radiation; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. II: Effects; New York: United Nations, 451–566. Available: <http://www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf> [accessed 29 June 2006].

Limited funds do not allow for rapid reprofiling and re-specialization of production. The Chernobyl factor had a greater impact on enterprises of the light and food industries located in the zone of radioactive contamination. In the contaminated areas of Kyiv region, flax processing plants were closed, and Kyiv vegetable drying plant was liquidated.

In this regard, many enterprises focused on the production of products using local raw materials either ceased to exist or were forced to reorient themselves to external raw material sources, or to carry out work or activities to change the profile of their activities and change the range of products having been manufactured. In addition, the situation of industrial enterprises in the radionuclide-contaminated territories of Kyiv region has significantly worsened due to the fact that many specialists were forced to change their place of residence from contaminated to radioactively clean regions.

Thus, as a result of the Chernobyl accident, the industrial potential of Kyiv region suffered very serious damage, which manifested itself in a reduction in the number of operating enterprises, a decrease in the production volumes at those enterprises that resumed their activities after the accident. In general, the above factors caused a significant decrease in the efficiency of the industrial complex, and in some cases led to the emergence of unprofitability.

Let us describe the socio-cultural and everyday spheres of human activity after the Chernobyl disaster. After the Chernobyl disaster, 43,98 % of the region's territory was in radioactive contamination zones, where 14,73 % of the population (154 thousand of people) lived in 672 rural settlements. Environmental disturbances of the habitat and radical political and socio-economic transformations of the 1990 determined a new demographic period. Compared to other regions of Ukraine, Kyiv region experienced the largest decline in rural population (its numbers have decreased three times compared to 1950). Its small labor force (less than 160 thousand of people) is unable to fully meet the labor needs of the agro-industrial complex and service industries. The village has the lowest number of children (about 77 thousand of people), which is 2,7 times less than Kyiv region, this determines the smallest replenishment of the labor force and will lead to the inability to compensate for losses from retirement, mortality and migration.

Since the second half of 1990, the process of urbanization has clearly stopped, the number of residents in cities not only does not increase, but even decreases, which is explained by the lack of influx from outside and natural population decline due to an excessively low birth rate, increased mortality and migration losses. Thus, the consequences of the Chernobyl disaster, as well as the political and economic transformations of the 90s of the 20th century caused a new decline in the dynamics of Kyiv region's population, which reached the scale of military losses.

Let us describe healthcare in Kyiv region after the Chernobyl disaster. The demographic situation has changed dramatically in the areas affected by radiation. Thus, the population of Chernobyl District has decreased by 85 % since 1986. Currently, over 160 thousand of people, including 85 thousand of children, live in Chernobyl region with a radioactive contamination density of more than 1 curie per square kilometer. The crisis phenomena in the economy and social sphere of the republic have especially affected the health care of Kyiv Region. The problems that aggravate the existing situation in the protection of public health include: unfavorable environmental conditions, low living standards, insufficient food supplies, irrational lifestyle and other social problems. The most unfavorable environmental conditions have developed in the radioactive contamination zones.

A State Register of Persons Exposed to Radiation has been created in Ukraine. More than 200,000 of residents of Kyiv Region have been registered with the dispensaries. In 2008, 14350 thousand of people were sent for health improvement and sanatorium-resort treatment, including 17,1 thousand of children, which is 56,8 and 76,8 % of the annual plan, respectively. 10,78 billion of hryvnia was spent on these purposes.

In 2008, 5,67 billion of hryvnia were allocated in Kyiv Region for the purchase of medical equipment for health care institutions located in areas contaminated with radionuclides. In particular, 17 ambulances, 6 X-ray machines, 8 ultrasound diagnostic machines, 9 software and hardware complexes for long-term ECG monitoring, 42 electrocardiographs and other medical equipment was purchased for medical institutions.

Over 20 billion of hryvnia will be spent on reconstruction and re-equipment of medical institutions in Kyiv Region by 2015. In 2006-2009, as a result of reconstruction and re-equipment of maternity hospitals, operating

units of resuscitation and intensive care units in a number of health care organizations, round-the-clock operation of operating units was ensured, high-tech operations and intensive care methods were introduced, the treatment process was intensified, and the number of hospitalizations of patients was reduced. Also, during this period, the indicators of postoperative mortality associated with acute surgical pathology, the frequency of postoperative complications of primary disability and many other indicators were reduced. Reconstruction and re-equipment of all planned district medical institutions was carried out, except for Kyiv Chernobyl central district hospitals, where these works are planned to be completed in 2008.

Also, in the hospitals of the region that have undergone reconstruction and re-equipment, over the past two years more than 30 new operations have been introduced and are being performed in various areas of surgery, including pediatric surgery, cardiac surgery, etc. In particular, the economic effect only due to a reduction in bed-days by 4,8 %, a reduction in preoperative stay by 7,8 %, a reduction in the complication rate by 2,32 %, the use of highly effective technologies for surgical interventions and intensive care amounted to over 3,4 of hryvnia.

Conditions have been created in Kyiv region for genetic testing of pregnant women; ultrasound diagnostic and endoscopy rooms have been opened in contaminated areas; immunological laboratories are operating in regional centers. All of the above enables the healthcare system as a whole to cope with the task set by the disaster. Thus, in 2008, about 10 thousand of children were born in the region, which is significantly higher than the figures for 2006 and 2008, which indicates an improvement in the well-being of the region's residents and the desire of young people to think about the future, the agency's interlocutors emphasized.

In general, the healthcare system of both the affected areas of Kyiv region and Ukraine as a whole is still characterized by a lack of funds for disease prevention, which worsens the health indicators of the population, exacerbates the situation with the spread of socially dangerous diseases, and increases mortality.

Let us describe education in Kyiv region after the Chernobyl disaster. The number of comprehensive schools in Kyiv region is continuing to decrease. There are 640 comprehensive schools in the region, of which 180 units or

45 % are located in the contaminated area. Thus, in the zone of 1-8 Ci/sq.km – 76,8 % of schools (11,76 thousand of pupils or 87,9 % of all pupils), in the zone of 5-89 Ci/sq.km – 45,8 % (9,7 thousand of students or 45,7 %). If in 1990 in the zone of 15-60 Ci/sq.km there were 25 comprehensive schools with 1,5 thousand students, then since 1998 these schools ceased to exist. Positive trends emerged after 2000. Thus, in 2002-2008 a school was built in the villages near Chernobyl district³.

Kyiv region still faces an acute problem of opening new comprehensive schools in radioactively contaminated areas. Currently, the main burden of maintaining comprehensive schools in Kyiv region falls on local authorities, and the main source of their maintenance is the local budget. According to the agreement between the government of Ukraine and the International Bank for Reconstruction and Development, as a part of the implementation of the program for the rehabilitation of the affected territories of Kyiv region, designed for 2007-2010, the following points are being carried out:

- replacement of old lamps at schools with new energy-efficient ones;
- insulation, replacement of windows with modern double-glazed windows in school buildings.

At the same time, kindergartens in the contaminated areas of Kyiv region remain understaffed, the number of places in them exceeds the number of children attending them. This is mainly due to the fact that, due to the changed economic conditions in the republic, the material conditions of families with children have worsened, and the cost of keeping a child in a kindergarten has turned out to be prohibitively high for many segments of the population, and they are forced to raise children at home. The education system continues to experience an outflow of personnel, which is largely due to the low wages of teachers.

In addition, as medical observations show, schoolchildren in radioactively contaminated areas suffer from fatigue, drowsiness and poor learning skills even at 5-10 Ci/km². At the same time, the starting conditions for children to receive an education throughout the republic should be the same. In 2007, 9,4 billion of hryvna were spent on free meals for schoolchildren in contaminated areas of Kyiv Region. In total, almost 90 billion of hryvna were spent on

3 WHO (World Health Organization) (2005). Chernobyl: The True Scale of the Accident; 20 Years Later a UN Report Provides Definitive Answers and Ways to Repair Lives [Press Release]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/print.html> [accessed 11 February 2006].

compensation payments, benefits, health improvement, and free meals in Kyiv Region in 2002-2008.

In 2008, 4,87 billion of hryvnas were allocated for the decontamination of school and preschool territories, demolition and burial of buildings, and burial of decontamination waste; burial of 107 farmsteads is planned. Thus, significant damage as a result of the Chernobyl accident was inflicted on the education system. At the same time, one can observe a step-by-step solution to the problems of education in the contaminated territories of Kyiv region, the solution of which requires the attraction of a significant amount of financial resources.

Let us describe consumer services in Kyiv region after the Chernobyl disaster. Low purchasing power of the population of Kyiv region, rising prices for raw materials and materials weaken the production activity of consumer services and create preconditions for the curtailment of the work of enterprises in this sector. Radioactive contamination of the territories of Kyiv region has caused the need for mass resettlement, especially of the rural population, to ecologically clean areas of the republic, which has led to the closure of a large number of complex reception points. The increase in prices and tariffs for consumer services is considered the main destabilizing element in the development of consumer services.

The operating network of public services in Kyiv Region in 1996 decreased by 3,4 times compared to 1990. A significant reduction occurred due to the 15-45 Ci/sq. km zone. In Kyiv Region, not a single enterprise operates in this zone. The existing taxation system and the rise in costs in the conditions of economic instability of the 1990s led to the formation of high prices and tariffs, which caused a reduction in the volume of sales of public services and consumer demand for them. In particular, in 1996 the volume of sales of public services in Kyiv Region in radioactive contamination zones decreased by 8,5 times compared to 1990; in the 1-5 Ci/sq. km zone – by 7,6 times; in the 5-15 Ci/sq. km zone – by 6,1 times. There was a tendency to close dry cleaners, baths and laundries, which is unacceptable for areas with radioactive contamination.

As the economic situation in Ukraine stabilizes, a tendency for the situation to change has emerged in the contaminated areas of Kyiv Region. For example, 152 social service houses were opened in rural areas of Kyiv

Region in 2002-2008. A total of 732 social service houses operate in rural areas, which facilitates the timely and complete resolution of problems of elderly citizens. 10255 of people are receiving home care in home social assistance departments. There are 15 boarding houses for the elderly and disabled in the region, of which 6 are general profile boarding houses, 6 are psychoneurological, and 3 is for disabled children with special psychophysical developmental needs. Currently, 2567 people live in them. About 18 billion of hryvnas were spent from the regional budget for the maintenance of boarding houses in 2008.

According to the committee, various types of social, domestic and psychological assistance to the elderly are provided through 45 territorial social service centers created in each administrative district of Kyiv region. Their structure is constantly being improved. In practice, these are institutions with a developed structure and a wide range of social, psychological, legal, domestic, consultative and other services. These centers have 244 structural divisions, including 18 departments for round-the-clock stay of citizens, with a total capacity of 420 places, and provide more than 85 types of social services. In 2008, the centers were visited by about 250 thousand of people.

Let us describe trade and catering in Kyiv region after the Chernobyl disaster. The level of trade services to the population in the whole is one of the characteristics of the quality of life of the people. Maintaining and improving trade services to the population in the affected areas of Kyiv region is an urgent problem. Thus, it is possible to note the increase in the number of stores located in the contaminated zone of Kyiv region, which is primarily due to the revision of the status of pollution of settlements and the development of non-state forms of trade. Nevertheless, in the contaminated areas of Kyiv region, the number of catering establishments has significantly decreased, and, accordingly, the number of seats has also decreased. A significant deterioration in trade indicators was largely due to the difficult economic situation that arose after the collapse of the USSR.

Trade and catering in Kyiv region after the Chernobyl disaster were facilitated by the following factors:

- a decline in the standard of living of the population and the resulting reduction in solvent demand;

- a lack of own working capital, which was acutely felt by almost all trading enterprises;
- high costs for credit resources and rent;
- a breakdown in business ties with industry;
- weak management of the industry.

All this caused a decrease in trade turnover and a deterioration in its whole structure. The share of manufactured goods in consumption increased. The demand of the majority of the population has shifted to the purchase of essential goods due to forced savings on the purchase of durable goods.

Let us describe housing in Kyiv region after the Chernobyl disaster. The Chernobyl accident caused a great, significant damage to housing and utilities. Due to a high level of radionuclide contamination, a great part of housing stock was deemed unsuitable and the population was resettled. In the radionuclide contaminated zones, a set of measures was implemented into the post-accident period to resettle the population from the priority and subsequent resettlement zones of Kyiv region. As of January the 1st, 1997, there was not a single settlement left in the priority resettlement zone. In the subsequent resettlement zone, there are 18 of them with a total population of 300 thousand people.

For example, the Chernobyl District was considered the most ecologically clean of all the districts of Kyiv region during the Chernobyl disaster. Before the accident, there were 179 settlements with a population of about 28000 of people. The average area of the district was 148000 hectares. The forest cover of the district was 45 %, while currently it is 30 %. The Chernobyl disaster brought very negative trends to this process. Almost every square meter of the territory was exposed to radioactive contamination. Of the 179 settlements, 65 were in the zone above 15 Ci/km², 74 were located in the zone with a contamination density of 5–15 Ci/km², and the remaining 40 settlements were in the zone of 1–5 Ci/km². In the early 1990s, 114 settlements ceased to exist and the population was resettled.

At the same time, in order to prevent the removal of contaminated structures and their components, contaminated buildings are still being buried in the contaminated areas of Kyiv region. Currently, 14 thousand square kilometers of the territory of Kyiv region are contaminated with radionuclides, which is 45 % of the total area. These territories are home to

173 thousand people, including 44 thousand children. Thus, the accident at the Chernobyl nuclear power plant led to a significant deterioration in the socio-economic situation of the contaminated territories of Kyiv region and caused a decrease in the population, deterioration in trade, health care and housing and communal services.

Let us describe the analysis and assessment of the effectiveness of the current economic mechanism for the socio-economic rehabilitation of the affected areas of Kyiv region after the Chernobyl disaster. First of all, we'll talk about social protection of participants in the liquidation of the consequences of the disaster and the population living in the Chernobyl zone.

The problem of social protection of the population is of primary importance in the system of managing the socio-economic development of the territories of Kyiv region affected by the Chernobyl disaster. Social protection of the population involves the provision by the state of assistance in the form of social guarantees to each affected person who found himself/herself in the zone of radioactive contamination through no fault of their own. Immediately after the disaster, measures were organized and carried out in the republic to protect the population.

However, the social protection system was developed and presented in the Law "On the Status and Social Protection of Citizens Affected by the Chernobyl Disaster" adopted on April 1, 1991 by the Supreme Council of the Ukrainian SSR⁴. This Law established the protection of the rights and interests of citizens who participated in the liquidation of the consequences of the disaster, resettled and moved to a new place of residence from the territories of radioactive contamination, currently residing in the said territories, as well as citizens affected by the accident at other nuclear facilities of civilian or military purpose. Since the adoption of this law, a legal mechanism has been created and it is in effect in the republic regulating the state's relations with citizens affected by the disaster. The state has assumed the role of the organizer and coordinator of social protection of the population. The state's function of social protection has been singled out as independent one and it is carried out by the Ministry of Emergency Situations and Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Disaster.

4 Закон "О статусе и социальной защите граждан, пострадавших в результате Чернобыльской катастрофы" (1991). 01 апреля 1991 г., принят Верховным Советом Украинским ССР. <http://consultant.parus.ua/?doc=002N349A5A>.

The philosophical, psychological and methodological approaches, according to which the social protection measures in the Law “On Social Protection of Citizens Affected by the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster” were developed in such a way. According to the Law, the state guarantees the provision of citizens of Ukraine with monetary and other material compensation and benefits for the damage caused to their health and property by the disaster, as well as for the risk of radiation harm in the event of living and working in areas contaminated above permissible levels. The amount of compensation and benefits is determined by two criteria, such as the level of radioactive contamination of the territory and the status of citizens affected by the disaster.

The level of radioactive contamination of territories is assessed using two main indicators, such as the radiation dose of the resident population, as well as the density of contamination of places of residence and activities with radionuclides. The permissible dose is the equivalent radiation dose of the population from radioactive fallout, not exceeding 1 mSv (0,1 rem) per year. Exceeding the specified dose over the level of natural and man-made radiation background is the basis for carrying out protective measures, including resettlement, as well as material compensation for damage.

The density of contamination of the territory with radionuclides is determined as the average value of the data of surveys of settlements, agricultural lands, forests for cesium-131 or strontium-90 or plutonium-236, 239, 240. The most important area of work in terms of practical implementation of the scientific results accumulated in the republic in various fields is not only scientific substantiation, but also a real development of comprehensive programs for the rehabilitation of administrative districts in radioactively contaminated territories, taking into account local raw material and production capabilities. The latter provides for a comprehensive solution to medical, radiation-hygienic, socio-economic, demographic and socio-psychological problems. Such rehabilitation plans are in effect in Kyiv, Cherkasy, Poltava, Zhytomyr, Rivne, Khmelnytskyi and Lviv regions of Ukraine.

The plans envisage, among other things, the reorientation of financial and material resources for the implementation of priority protective measures. Depending on the density of radionuclide pollution and the degree of radiation exposure to humans, the territories of radioactive contamination are divided

into the following zones in accordance with the requirements laid down in the Law of Ukraine “On Social Protection of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters”:

- evacuation zone (exclusion);
- zone of priority resettlement;
- zone of subsequent resettlement;
- zone with the right to evacuate;
- living area with periodic radiation control.

According to the Law of Ukraine “On Social Protection of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters”, the radiation status of 15 % of settlements in Kyiv region has been changed, which include:

- 15 settlements were moved from the subsequent resettlement zone with a density of cesium-131 soil radiation contamination from 15 to 45 Ci/sq.km to the zone with the right to resettlement with a contamination density of 10 to 15 Ci/sq.km;
- 118 settlements were moved from the zone with the right to resettlement with a contamination density of 5 to 20 Ci/sq.km to the residence zone with periodic radiation monitoring from 1 to 15 Ci/sq.km;
- 20 settlements were excluded from the residence zone from 1 to 15 Ci/sq.km.

At the end of 1996, the list of populated areas in the region was slightly revised, in particular, the city of Chernobyl was included into the zone with periodic radiation monitoring from 1 to 30 Ci/sq.km, and the urban settlement of Prypyat was transferred from the zone of 1-15 Ci/sq.km to the zone of 35-45 Ci/sq.km. At present, there are 24 rehabilitated populated areas in Kyiv region, which have led to the emergence of new problems in ensuring the restoration of social, domestic and industrial infrastructure. Usually, when a territory or populated area is assigned to another zone of radioactive contamination, the amount of benefits and fixed additional payments changes from the date of its introduction⁵.

The indicator regulating the receipt of relevant compensation and benefits is the status of citizens affected by the disaster. The law defines two categories of citizens to whom the Law of Ukraine “On Social Protection

5 Barber, R., Plumb, M.A., Boulton, E., Roux, I. & Dubrova, Y.E. (2002). Elevated mutation rates in the germ line of first- and second-generation offspring of irradiated male mice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 99(10), 6877–6882. doi: 10.1073/pnas.102015399.

of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters” applies. These movements include participants into the process of liquidation of the consequences of the disaster and the affected population. Participants in the liquidation of the consequences of the disaster are citizens who participated in the liquidation of the consequences of the disasters at the Chernobyl Nuclear Power Plant:

- in 1986-1987 in the evacuation zone;
- in 1988-1989 in the evacuation zone;
- in 1986-1987 in the zones of primary and subsequent resettlement.

The population affected by the Chernobyl disaster includes citizens:

- those ones who fell ill and were suffered from radiation sickness, as well as disabled persons for whom a causal relationship has been established between the onset of disability and the Chernobyl disaster, from among persons evacuated, resettled, living, or who voluntarily left the radioactive contamination zones after the disaster at the Chernobyl Nuclear Power Plant;
- those ones who were evacuated and resettled from the evacuation, primary and subsequent resettlement zones, as well as those ones who voluntarily left these zones after the disaster;
- those ones who were living (working) in the primary (from 40 Ci/sq.km and above) and subsequent (from 15 to 40 ai/sq.km) resettlement zones;
- those people who were living (working) in the zone with the right to any resettlement (from 6 to 15 Ci/sq.km);
- living (working) in a residential area with periodic radiation monitoring (from 1 to 5 Ci/sq.km).

First of all, from the complex of problems that have been arisen as a result of the disaster, the main task was solved: resettlement of residents from places where it is impossible to ensure normal life. Nowadays, the State Program for overcoming the consequences of the disaster at the Chernobyl Nuclear Power Plant for 2006-2012 has being implemented. The main goal of the latest State Program is the socio-economic and radioecological rehabilitation of contaminated territories, the creation of conditions for conducting economic activity without restrictions on the radiation factor and further reducing the risk to public health.

The program of the Law of Ukraine “On Social Protection of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters” establishes a mechanism

for implementing State Policy in the field of protecting the population and territories from the consequences of the Chernobyl disaster and is a set of measures, linked in terms of resources, main executors and deadlines, aimed at reducing the negative consequences of the disaster.

The program of the Law of Ukraine “On Social Protection of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters” provides for the solution of the following main tasks:

- improving specialized medical care for the population affected by the disaster;
- creating an effective system of social protection and socio-psychological rehabilitation of the population living in contaminated areas, liquidators, evacuees and resettlers;
- improving regulatory legal acts governing issues of overcoming the consequences of the disaster, in order to create favorable economic conditions for the development of the affected territories and assigning specialists in the field of healthcare, education, agriculture and forestry to work in these territories;
- ensuring radiation protection of the population, the functioning of the radiation monitoring system for agricultural and forestry products, food products and drinking water;
- gasification, water supply and development of contaminated areas;
- implementation of special measures in agricultural production and forestry in contaminated areas aimed at ensuring the production of products with radionuclide content within acceptable limits;
- further development of scientific and applied research and implementation of its results;
- expansion of international cooperation.

The program activities have financial, logistical, scientific and personnel support. The source of financing for the state program activities are funds from the republican and local budgets. In order to fulfill the tasks related to overcoming the consequences of the disaster, it is planned to allocate 4327,5 billion hryvnas in 2006–2010, of which 3589,7 billion hryvnas from the republican and 170,5 billion hryvnas from local budgets. The volume of expenses is calculated in the forecast prices of 2006 and is adjusted annually, based on the economic possibilities and forecasts of the socio-economic development of Ukraine.

In 1995 a new State conception of protective measures for the population during the recovery period was developed. There were proposed abandoning the criterion of surface radioactive contamination and planning protective measures solely depending on the average annual dose of radiation to the population. The following critical average annual dose levels are proposed for assessment: up to 1 mSv, 1-5 mSv, more than 5 mSv. In accordance with these doses, three types of territories for implementing protective measures are identified:

- territories with an acceptable average annual dose of radiation up to 1 mSv, where human residence and economic activity are not restricted, and protective measures are carried out locally;
- territories with doses from 1 to 5 mSv, where it is necessary to implement all protective measures, including social ones. Resettlement of people, based on the basic principles of radiation protection, is not planned;
- territories with a dose of more than 5 mSv, where human residence is not recommended, and economic activity is restricted.

Let's talk about pollution level monitoring, which it is nowadays. At the current rehabilitation stage of minimizing the consequences of the accident, the results of radiation and hygienic monitoring conducted in the area convincingly indicate a steady improvement in the radiation situation. Thus, the dose rate of external radiation in the territories is constantly decreasing and currently fluctuates within the range of 0,14-0,54 μ Sv/hour.

Radiation monitoring of food products allows us to note a constant decrease in the number of samples that do not meet the requirements of "The most Permissible Levels of Content of Cesium-137 and Strontium-90 Radionuclides in Food Products and Drinking Water" (RDU-99): in 2004, out of more than 1,5 thousand tested samples of food products obtained in the public sector of production, not a single one was registered with an excess of RDU-99. In the private sector, excesses of cesium-137 standards were recorded in milk (about 3 % of the number of tested samples), wild berries (25 %), mushrooms (45 %), and animal meat (55 %). The results of direct measurements of individual doses of external and internal radiation in the population living in contaminated areas are consistent with the data of measurements of the dose rate of external radiation and the content of cesium-137 in food products: the average individual dose of external radiation did not exceed 0,85 mSv/year,

and the proportion of people with an internal radiation dose of more than 1 mSv/year was only 0,1 %.

In conclusion, it should be emphasized that, despite the steady trend towards improving the radiation situation, in Kyiv region it is still far from what it was before the Chernobyl accident. This circumstance determines the need to continue optimized measures aimed at reducing dose loads for the population in Ukraine.

Based on the data of the analysis of the socio-economic development of the territories of Kyiv region affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the following conclusion can be made:

1. The rehabilitation of the territories of Kyiv region was affected by the Chernobyl disaster continues to be carried out in accordance with the adopted the Law of Ukraine “On Social Protection of Citizens Affected by Chernobyl nuclear power plant Disasters” to minimize the consequences of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant for 2006-2010. During its implementation, work continues in the contaminated territories of the region on:

- radiation protection of the population living in conditions of constant exposure to low doses of radiation, maintaining the health of victims, solving the problems of rehabilitation of contaminated territories;
- the implementation of a set of measures to support the life of the population in contaminated territories in accordance with socio-economic and radiation passports;
- conducting radiation monitoring and reducing the adverse environmental consequences of the disaster;
- using world experience and organizing international cooperation on the problems of the negative consequences of the disaster;
- improving the economic mechanism for the socio-economic rehabilitation of the affected areas of the region.

Taking into account the legal regime of the territories of Kyiv region that have been subjected to radioactive contamination, at the same time, a set of measures is being carried out on a regional scale with the aim at reducing the negative impact of these zones on other territories and the existing population.

All practical work on the formation and implementation of the policy for the rehabilitation of the regions affected by the consequences of the Chernobyl

disaster is carried out mainly by local authorities and the Ministry of Emergency Situations of Ukraine.

In general, the entire mechanism of socio-economic rehabilitation of the affected territories of the region is formed within the framework of building a civil society, a socially oriented market economy and a rule-of-law state. It includes the most important political institutions, state public structures, business entities interacting in the implementation of socio-economic and environmental policies. Moreover, the economic mechanism of rehabilitation is gradually moving towards coordinated decision-making, including the environmental factor as the most important criterion for assessing their effectiveness.

Hrygoriy HRYBAN,

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Zhytomyr Ivan Franko State University
ORCID ID: 0000-0002-9049-1485

Pavlo TKACHENKO,

Ph. D., Associate Professor,
Polissia National University
ORCID ID: 0000-0003-4407-8611

Ostap SKORUY,

Senior Lecturer, Department of Physical and
Combined Military Training
Polissya National University (Zhytomyr, Ukraine);
ORCID ID: 0000-0001-7876-1377

Olena PANTUS,

Senior Lecturer, Department of Physical and
Combined Military Training
Polissya National University (Zhytomyr, Ukraine);
ORCID ID: 0000-0001-8146-6133

RADIATION POLLUTION OF THE ENVIRONMENT AS A RESULT OF THE CHORNOBYL DISASTER AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH

The Chernobyl nuclear power plant accident in April 1986 significantly impacted the lives of hundreds of thousands of people. The initial fatalities among rescue workers were followed by numerous cases of thyroid cancer, particularly among children, and various other malignancies linked to the nuclear leak. Extensive areas of farmland, forests, rivers, and urban regions were contaminated with radioactive fallout. Consequently, hundreds of thousands of individuals were evacuated from these affected zones, forced to leave behind their homes, possessions, and livelihoods, leading to enduring psychological and social trauma¹.

¹ Shevchenko O. M. Sotsialno-psykholohichni aspekty naslidkiv chornobylskoi katastrofy. Aktualni problemy, napriamky ta shliakhy yikh vyryshennia. Chornobylska katastrofa. Aktualni problemy, napriamky ta shliakhy yikh vyryshennia [Socio-psychological aspects of the consequences of the Chernobyl disaster. Current problems, directions and ways to solve them. Chernobyl disaster. Current problems, directions and ways to solve them]. Zhytomyr. ZhNAEU, 2018. S. 87–91.

People's reactions to the Chernobyl disaster, as one would expect, varied not only in terms of their level of knowledge about what had happened. The behavior and decision-making of each individual person were influenced by their unique characteristics. It is difficult, of course, to imagine anyone, except for people with inadequate reactions, the sick, etc., who did not react to such a terrible event. The features of these reactions are of considerable practical interest, in particular, for studying and predicting behavior in emergency situations, in a state of panic, etc.; especially since we have quite a lot of such studies².

Human life is situated within the environment, and health is influenced by both heredity and natural factors. The internal environment of an individual, which maintains bodily homeostasis, is closely interconnected with environmental influences. This interaction operates at the level of human adaptation mechanisms. Consequently, environmental issues are becoming increasingly significant in the modern world. Ecology addresses the crucial matter of adaptation to various environmental conditions³.

As a result of the Chernobyl disaster, the environment is contaminated with radionuclides: strontium-90, iodine-129, radium-226, cesium-137, plutonium-239. In such a situation, a significant number of the Ukrainian population is forced to consume food products with a certain content of radioactive substances, which leads to the accumulation of radionuclides and causes chronic internal irradiation of the body⁴. Radioactive fallout pollutes air, soil, vegetation, water, and agricultural products. Soil and water pollution happens when radioactive substances enter these environments, partially dissolving and settling at the bottom. This affects lakes, ponds, slow-flowing rivers, rain, and meltwater the most.

Radionuclides are absorbed by plant-based food materials via their root systems and leaves. Consequently, these radionuclides can enter the bodies of humans, animals, and birds through air, water, and the consumption of fruits,

2 Moliako V. O. *Psikhologichni naslidky chornobylskoi katastrofy* (ros.). Zb. nauk. prats inst-tu psikhologii im. H.S. Kostiuka APN Ukrainy. «Aktualni problemy psikhologii» u 12 tomakh. T. 12. Vyp. 12. [Psychological consequences of the Chernobyl disaster. Collection of scientific works of the G.S. Kostyuk Institute of Psychology of the Academy of Sciences of Ukraine. "Current problems of psychology" in 12 volumes. Vol. 12. Issue 12.] Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. I. Franka – Zhytomyr Ivan Franko State University Publishing House, 2010. S. 8–21.

3 Hryban H. P., Skoryi O. S., Pantus O. O. *Problemy ekolohii navkolyshnoho seredovyscha v olimpiiskomu i profesiinomu sporti. Chornobylska katastrofa. Aktualni problemy, napriamky ta shliakhy yikh vyrishennia* [Environmental ecology problems in Olympic and professional sports. Chernobyl disaster. Current problems, directions and ways to solve them.]. Zhytomyr. ZhNAEU, 2018. S. 99–103.

4 Hryban H. P. *Problemy ekolohii u fizychnomu vykhovanni: monohrafiia* [Problems of ecology in physical education: monograph]. Zhytomyr: Vyd-vo «Ruta» – Zhytomyr: Ruta publishing house. 2008. 182 s.

vegetables, and cereals that have been cultivated on contaminated lands. Thus, becoming part of the cycle of substances, radionuclides enter the human body with food, water, and air, moving through the food chains (Fig. 1).

The first chain: air – human being.

The second chain: soil – plant food – human being.

The third chain: soil – vegetation – cows, goats – milk – human being.

The fourth chain: soil – vegetation – herbivorous domestic and wild animals, domestic and wild birds – human being.

The fifth chain: 1) water – human being; 2) sea and river water – phytoplankton – fish – human being; 3) sea and river water – zooplankton – crayfish, crabs, mollusks, algae (seaweed) – human being; 4) sea and river water – waterfowl domestic and wild birds – human being.

The primary pathways for radionuclides to enter the human body are through the consumption of contaminated drinking water and inhalation of atmospheric air containing radioactive dust. Among all radioactive substances introduced into the human body from external sources, over 90 % are ingested via food products, 5-9 % through drinking water, and less than 1 % through air. The gastrointestinal tract is the main pathway for radionuclide entry into the human body. Once absorbed, radioactive substances are distributed throughout the body via the bloodstream and lymphatic system. The majority of soluble radionuclide compounds are absorbed in the small intestine, with a lesser amount absorbed in the stomach, and a minor portion in the large intestine.

Radioactive elements behave as their corresponding stable counterparts: the principle of selective absorption is based on the fact that when the body is provided with the necessary substances, the probability of absorption of radioactive substances by cells decreases. Depending on this, the following isotopes are distinguished:

- accumulate in the bones: strontium, barium, radium, calcium;
- concentrate in the liver and skeleton: lanthanum, cerium, promethium;
- are evenly distributed: tritium, carbon, iron, polonium;
- accumulate in the muscles: potassium, cesium, rubidium;
- concentrate in the spleen and lymph nodes: ruthenium, niobium;
- accumulate in the thyroid gland: iodine⁵.

5 Peresichnyi M.I., Kravchenko M.F., Hryhorenko O.M. Tekhnolohiia vyrobnytstva produktii hromadskoho kharchuvannia radiozakhysnoi dii – teoriia ta praktyka [Technology of production of radioprotective catering products – theory and practice]. K.: «Medekol» – Medecol; MNITs BluEKOS. 1999. 231 s.

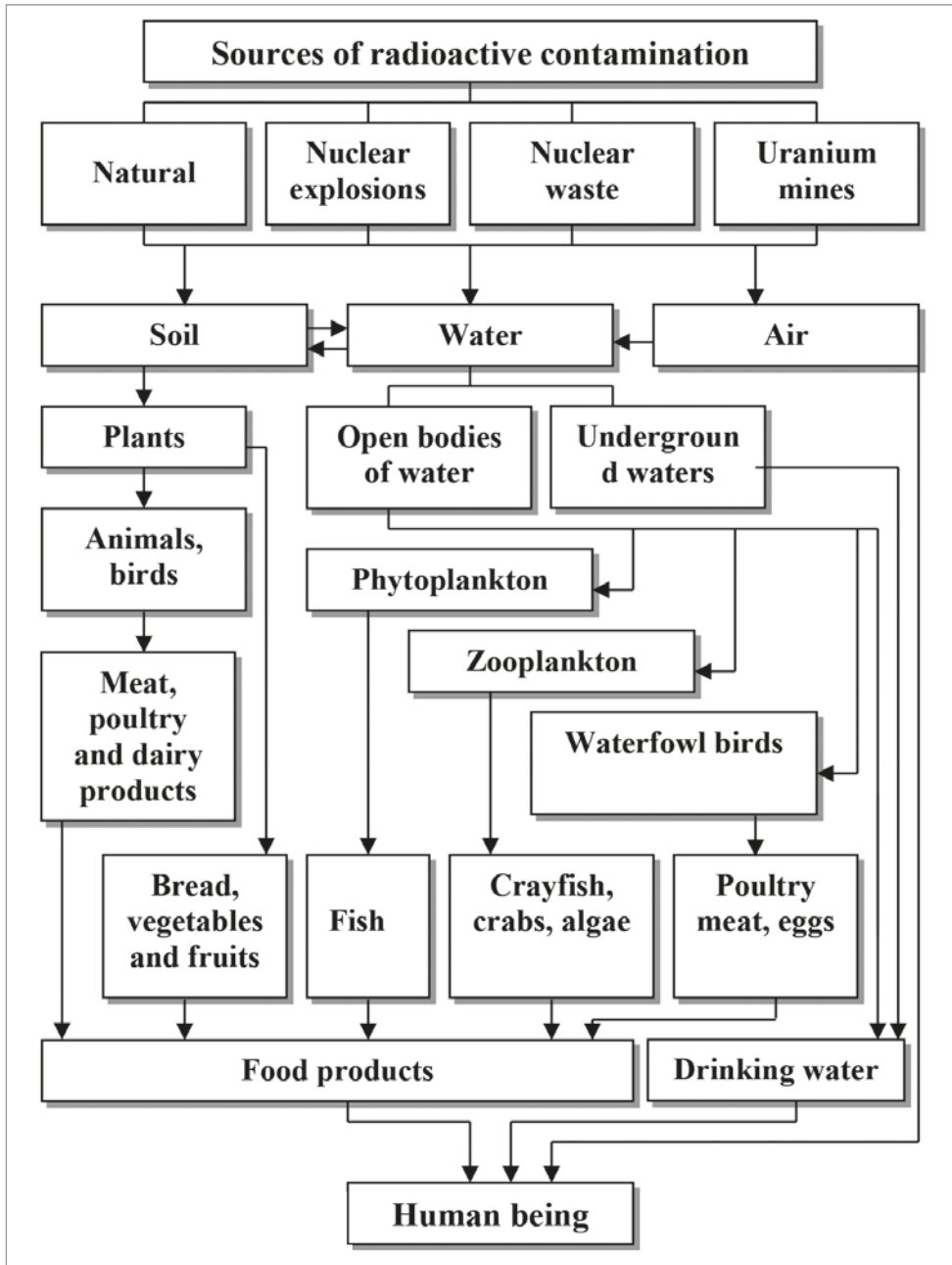


Fig. 1. Migration of radionuclides from the environment into the human body

The degree of danger of contamination with radionuclides depends on the frequency of consumption of products contaminated with radioactive substances, as well as on the speed of their elimination from the body. If the

radionuclides that have entered the body are of the same type as the elements that a person consumes with food (sodium, potassium, chlorine, calcium, iron, manganese, iodine, and others), then they are quickly excreted from the body together with them. Radioactive isotopes accumulate in the tissues of various organs, becoming a source of long-term radioactive emission. The concentration of radionuclides in a particular organ can many times exceed that in the human body as a whole. Therefore, absorbed doses accumulated in one of the organs can cause negative consequences, although the total content of the isotope in the body remains small. Regardless of the narrow professional specialization, it is necessary to consider the degree of influence of environmental factors on the human body, especially the consequences of technogenic impact. Thus, to avoid pathologies of a genetic nature, it is necessary to identify areas of increased risk, assess the level of mutagenic background and mutational variability, and identify sources of mutagens entering the environment⁶.

Particular attention should be paid to the fact that cesium-137 activity in local food products in Ukraine increased significantly after the Chernobyl accident. Milk, meat, mushrooms, and fish were contaminated the most. Radionuclide accumulation in fish varies based on the reservoir's distance from Chernobyl and the fish type. Predatory fish have higher radionuclides than benthic feeders, with plankton feeders having the most. Radionuclides are primarily found in the gills, scales, internal organs, and less in the muscles⁷.

When studying the effects of radiation on the human body, the following specific features were identified:

- even a small amount of radiation that is absorbed causes profound biological changes in the body;
- the presence of a latent (incubation) period of ionizing radiation;

6 Hryban H. P., Krasnov V.P., Prysiashniuk S.I. Zmitsnennia zdorovia i fizychnoi pidhotovlenosti studentiv v umovakh malykh doz radiatsiinoho zabrudnennia: navch. Posib [Improving the health and physical fitness of students in conditions of low doses of radiation pollution: teaching manual]. K.: Aharna osvita – Agrarian Education, 2005. 113 s.; Hryban H.P. Polipshennia stanu zdorovia studentskoi molodi v umovakh radionuklidnoho zabrudnennia shliakhom spetsialnoho kharchuvannia. Problemy fizychnoho vykhovannia studentiv: Mater. Vseukr. nauk.-metod. konf., shcho prysviachena 85-richchiu Dnipropetrovskoho nats. u-tu. Dnipropetrovsk: DNU [Improving the health of student youth in conditions of radionuclide contamination by means of special nutrition. Problems of physical education of students: collection of materials of All-Ukrainian scientific-methodical conference dedicated to the 85th anniversary of the Dnipropetrovsk National University. Dnipropetrovsk: DNU], 2003. S. 72–73; Romanenko O. V., Kostylov O. V., Reshetniak T. A. Nastupnist ekolohichnoi osvity yak element formuvannia svitohliadu. Ekolohiia ta noosferolohiia [The continuity of environmental education as an element of worldview formation. Ecology and noosphereology]. 1996. № 3–4. T. 2. S. 187–188.

7 Lohvynenko L.V., Burlaka V.A., Kryhfalumii Kh.I., Khomiak I.V. Suchasna kontseptsiiia radiozakhysnoho kharchuvannia. Ekolohiia: vcheni u vyryshenni problem nauky, osvity i praktyky: Zb. mizhnar. nauk.-prakt. konf. Zhytomyr [Modern concept of radioprotective nutrition. Ecology: scientists in solving problems of science, education and practice: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Zhytomyr]: Vyd-vo «Derzhavnyi ahroekol. u-t» – Publishing house "State Agro-Ecological University". 2007. S. 222–230.

- radiation has a genetic effect;
- organs of a living organism have different sensitivity to radiation;
- individual organisms react differently to radiation;
- radiation depends on the frequency. A single exposure to a large dose causes more profound changes.

In sports activities, the impact of negative environmental factors on the human body causes even greater harm, as this is associated with greater consumption of polluted air, food, water and the intensity of work of all functional systems and the body as a whole. Therefore, the construction of sports facilities, the choice of a place for educational and training classes, leisure and recreation in nature, swimming in open water bodies should consider environmental factors and their impact on the health of young people⁸.

Among the main areas of research into the effects of radioactive radiation on the human body are medical, radiological and biological. The main attention is paid to the study of the medical aspects of the consequences of the Chernobyl disaster. Despite the wide range of research areas of this problem, the state of the environment is not improving, the population continues to be exposed to radiation and worsening of health. It has been experimentally proven that there is no safe dose of radiation. A wide range of minimum doses of radiation by incorporated radionuclides, when various pathological disorders occur in the human body (general weakness of the body, drowsiness, apathy, etc.), confirms the unequal sensitivity of organs and tissues to ionizing radiation⁹. It is also recognized that the relationship between low doses of radiation and disease in the population is linear, as this most fully corresponds to existing experimental data and clinical observations¹⁰.

8 Hryban H. P. Problemy ekolohii u fizychnomu vykhovanni: monohrafiia [Problems of ecology in physical education: monograph]. Zhytomyr: Vyd-vo «Ruta» – Zhytomyr: Ruta publishing house. 2008. 182 s.; Hryban H. P., Opanasiuk F. H. Vplyv navkolyshnoho seredovysshcha na metody i zasoby fizychnoho vykhovannia uchnivskoi ta studentskoi molodi. Nauk.-teoret. zb. Visnyk Derzhavnoi ahroekolohichnoi akademii Ukrainy. № 2 [The influence of the environment on the methods and means of physical education of schoolchildren and students. Scientific-theoretical collection. Bulletin of the State Agroecological Academy of Ukraine. No. 2]. 1998. S. 14–17.

9 Hryban H.P. Polipshennia stanu zdorovia studentskoi molodi v umovakh radionuklidnoho zabrudnennia shliakhom spetsialnoho kharchuvannia. Problemy fizychnoho vykhovannia studentiv: Mater. Vseukr. nauk.-metod. konf., shcho prysviachena 85-richchiu Dnipropetrovskoho nats. u-tu. Dnipropetrovsk: DNU [Improving the health of student youth in conditions of radionuclide contamination by means of special nutrition. Problems of physical education of students: collection of materials of All-Ukrainian scientific-methodical conference dedicated to the 85th anniversary of the Dnipropetrovsk National University. Dnipropetrovsk: DNU], 2003. S. 72–73.

10 Lohvynenko L.V., Burlaka V.A., Kryhfalumii Kh.I., Khomiak I.V. Suchasna kontseptsiiia radiozakhysnoho kharchuvannia. Ekolohiia: vcheni u vyryshenni problem nauky, osvity i praktyky: Zb. mizhnar. nauk.-prakt. konf. Zhytomyr [Modern concept of radioprotective nutrition. Ecology: scientists in solving problems of science, education and practice: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Zhytomyr]: Vyd-vo «Derzhavnyi ahroekol. u-t» – Publishing house "State Agro-Ecological University". 2007. S. 222–230.

The health of a population is a key indicator of the "man – environment" system's effectiveness, primarily influenced by pollution levels. Thus, socio-ecological monitoring must include health assessments. In Ukraine, the medical and demographic situation is worsening, with declining birth rates, deteriorating health, and natural population decline. Zhytomyr Regional Department of Statistics reports reduced natural population growth in recent years¹¹.

The dominant place in the system of diseases and mortality of the population of Ukraine is occupied by chronic diseases of the respiratory system, circulatory system, malignant neoplasms, diseases of the nervous system and sensory organs, allergic, genetic and other diseases of complex etiology, which reflects the influence of the entire variety of living conditions¹². The main causes of mortality in the Zhytomyr region are diseases of the circulatory system, respiratory organs, neoplasms, poisoning, injuries and accidents.

According to modern concepts, health is a natural state of the organism, which is in complete equilibrium with the biosphere and is characterized by the absence of any pathological changes. The state of health reflects the dynamic equilibrium between the natural environment and the organism. The state of health is characterized by two factors: the integration of functions, which is provided by the correlations carried out by the nervous and endocrine systems, and the energy, which is provided by the energy of food and the free energy of the environment. Interacting with each other, the integration and energy components of health form a state of negentropy – the ability of the organism to be a holistic system and to resist disturbances¹³. The proper health of young people depends on the social, economic and spiritual development of society, the state of the environment, waste disposal, the availability of a sufficient amount of wholesome and safe food, clean water, fresh air and certain scientific and educational knowledge about behavior in the environment and the use of its natural resources. Morbidity reflects the degree of human adaptation to environmental conditions, and the structure of

11 Hryban H. P. *Problemy ekolohii u fizychnomu vykhovanni: monohrafiia* [Problems of ecology in physical education: monograph]. Zhytomyr: Vyd-vo «Ruta» – Zhytomyr: Ruta publishing house. 2008. 182 s.

12 Nahorniuk O.M., Tarasiuk S.I. *Zdorovia liudyny yak intehralnyi pokaznyk sotsialno-ekolohichnoho monitorynhu ahrosfery. Reformuvannia systemy ahraryoi vyshchoi osvity v Ukraini: dosvid i perspektyvy*. Mater. Vseukr. nauk.-prakt. Konf [Human health as an integral indicator of socio-ecological monitoring of the agricultural sphere. Reforming the system of agricultural higher education in Ukraine: experience and prospects. Materials of the All-Ukrainian Scientific-Practical Conference.]. – K.: NAU – NAU, 2005. S. 154–157.

13 Chaplyhin V. *Vplyv faktoriv zovnishnoho seredovyscha na formuvannia zdorovia liudyny. Fizychna kultura, sport ta zdorovia natsii. Zb. nauk. prats. Vyp. 5* [The influence of environmental factors on the formation of human health. Physical culture, sports and health of the nation. Collection of scientific works. Issue 5]. DOV «Vinnytsia» – Vinnytsia PH. 2004. S. 509–513.

morbidity – the specific weight of each disease in their total number. About 50 % of morbidity is due to the lifestyle of each individual person. Bad habits, improper nutrition, insufficient physical activity, loneliness, stress, violations of work and rest regimes contribute to the development of the disease. Morbidity depends on heredity and environmental conditions – climate, state of the geosphere, level of environmental pollution and is determined by approximately 10 % by the modern level of medical care. Analysis of the causes of morbidity and the environmental conditions in which people live provides grounds for protecting each individual from the influence of negative environmental factors¹⁴.

Humanity must make significant changes in consciousness and behavior, and accept restrictions dictated by natural laws. Educational systems also need fundamental changes to address today's ecological, economic, political, social, and spiritual needs. The main causes of modern youth diseases and functional disorders include:

- environmental pollution with radioactive substances, pesticides, nitrates, heavy metals, and a number of other harmful substances;
- ignorance and illiteracy, as well as the lack of elementary skills and habits of behavior in a polluted environment;
- violation of the diet and nutrition regimen;
- low level of material security and harmful household habits;
- violation of the norms of a healthy lifestyle, the appearance of hypodynamia in a significant part of youth;
- neuro-emotional stress and social unrest in society;
- reduction of propaganda activities in the press and on television regarding the involvement of young people in active physical exercises and sports and determining their importance for human life;
- the appearance in society of a significant number of entertainment activities that distract young people from a healthy lifestyle (computerization, slot machines, telephones, etc.).

14 Hryban H. P., Krasnov V.P., Prysiazhniuk S.I. Zmitsnennia zdorovia i fizychnoi pidhotovlenosti studentiv v umovakh malykh doz radiatsiinoho zabrudnennia: navch. Posib [Improving the health and physical fitness of students in conditions of low doses of radiation pollution: teaching manual]. K.: Ahrarna osvita – Agrarian Education, 2005. 113 s.; Hryban H. P. Naukovi zasady ekolohichnoi osvity zdobuvachiv u fizychnomu vykhovanni. Fizyчне vykhovannia, sport ta zdorovia liudyny: dosvid, problemy, perspektyvy: materialy Kh Vseukr. nauk.-praktychnoi onlain-konferentsii [Scientific foundations of environmental education of students in physical education. Physical education, sports and human health: experience, problems, prospects: materials of the 10th All-Ukrainian scientific and practical online conference]. 15 hrudnia, 2023 r. Kyiv. Un-t imeni Borysa Hrinchenka – Borys Hrynchenko University PH. 2023. S. 57–61.

Technical sciences

**Serhii PUZIK,**

PhD, Professor,
State University “Kyiv Aviation Institute”
ORCID ID: 0000-0001-6151-1240

Valentyna GROZA,

PhD, Associate Professor,
State University “Kyiv Aviation Institute”
ORCID ID: 0000-0003-1668-1878

Oleksandr ZAPOROZHETS,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Institute of Aviation, Poland
ORCID ID: 0000-0002-8636-0538

Serhii ZOZULIA,

PhD, Associate Professor,
State University “Kyiv Aviation Institute”
ORCID ID: 0000-0002-1192-8088

Maksym KOVHAN,

Leading Specialist,
State University “Kyiv Aviation Institute”
ORCID ID: 0009-0008-9010-2874
Ukraine

REGENERATION OF THE SURFACE OF POLLUTION DEPOSITION OF POWER CLEANERS WITH DETERGENT

Military and civil aviation is one of the main consumers of fuel and energy resources. Millions of tons of fuel and lubricants are spent annually to perform flights. In the face of today, the issue of use of air conditioning fuels for aviation, special ground equipment become of national importance.

Fuels and lubricants are mostly harmful and poisonous, and contaminated even more, so it is necessary to develop and use devices for cleaning them and to protect the environment¹. Such devices are power cleaners developed and

¹ Чеботарьов Л. І. Технічна експлуатація засобів паливозабезпечення аеропортів: підручник / Л.І. Чеботарьов, С. О. Пузік, П. С. Борсук – К: 2019 – 264 с.

patented by the authors: the gravity cleaners (GC) of fuel (patent of Ukraine for invention No. 18940a) and inertial cleaner (patent of Ukraine for invention No. 79280a).

The efficiency of the GC after accumulation of contamination in it is reduced and can be restored by the method of regeneration – it is the restoration of the work capacity of the GC, ie cleaning the surface².

Among the existing methods the process of cleaning the surface of contamination deposition with detergents is insufficiently investigated.

The purpose of further research is to establish the fundamental possibility of washing with some detergent, as well as to determine the costs of detergents.

Fig. 1 depicts one of the cracks between two adjacent sedimentary plates and acting force on a pollution particle.

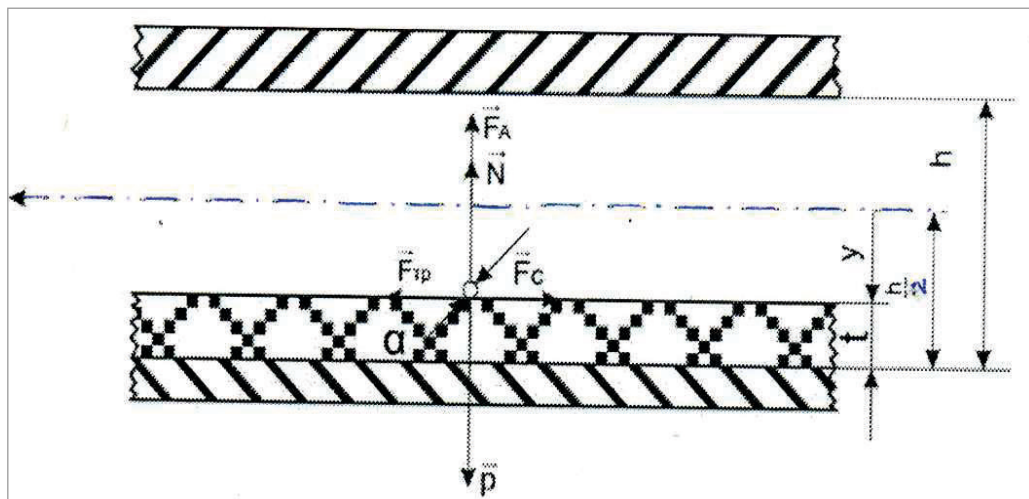


Fig.1. Scheme of forces acting on a particle on the surface of a contamination layer

The condition of flushing the particles of contamination from the surface of the depositing plates of a contamination layer according to Fig. 1 is

$$F_c > F_{fr}^2,$$

that is

$$\frac{9Qdv_p\rho_p}{8hn}\left(\frac{1}{r_0+l_{II}}+\frac{1}{r}\right)\left[1-\frac{4y^2}{h^2}\right]\geq f(p_r-p_p)\frac{\pi d^3}{6}g.$$

2 Пузік С. О., Розробка гравітаційного очисника палив: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.14 Експлуатація повітряного транспорту / Пузік Сергій Олексійович: К: 1999. -16 с.

We solve this inequality relative to detergent expenditure per unit time:

$$Q \geq \frac{8hn \left[f \cdot (\rho_r - \rho_p) \frac{\pi d^2}{3} g \right]}{9v_M \rho_M \left(\frac{1}{r_0 + l_{II}} + \frac{1}{r} \right) \left[1 - \frac{4y^2}{h^2} \right]}, \quad (1)$$

where $v_{(M)}$ and ρ_M – characteristics of detergent, v_M – kinematic viscosity coefficient; ρ_M – density.

Substrate in the right part of inequality values of $h, n, r, d, r_0, l_{II}, r$, and f^3 .

For y we have the following assessment $y = y_{\text{крит}} \geq 0,074 \text{ cm}$. Thus we consider values of y in the interval $0,15 \geq y \geq 0,074$, and divide it into subintervals:

1) $y_1 = 0,07 \text{ cm}$; 2) $y_2 = 0,09 \text{ cm}$; 3) $y_3 = 0,11 \text{ cm}$; 4) $y_4 = 0,13 \text{ cm}$; 5) $y_5 = 0,14 \text{ cm}$.

Table 1 includes the results of expenditure calculations Q by formula (1) for different values of y and some detergents.

Table 1

Detergent expenditure per unit time

N_0	Water $\rho_M = 1 \text{ g/cm}^3$ $v_M = 0,01 \text{ cm}$	AΦT-1 $\rho_M = 0,953 \text{ g/cm}^3$ $v_M = 0,052 \text{ cm}$	AΦT-2 $\rho_M = 1,1 \text{ g/cm}^3$ $v_M = 0,08 \text{ cm}$	Acetone $\rho_M = 0,8 \text{ g/cm}^3$ $v_M = 0,04 \text{ cm}$	Solution SVOD-TBH $\rho_M = 0,87 \text{ g/cm}^3$ $v_M = 0,0851 \text{ cm}$
1	279,7	57,77	17,48	96,15	4,024
2	339,9	70,2	38,6	116,84	4,86
3	440,67	97,2	29,4	161,8	6,73
4	871,1	180,5	54,64	300,4	12,5
5	1705,2	348,6	105,5	580,17	24,14

Thus, from the point of view of the detergents cost, SVOD-TBH has the advantage (and then AFT-2).

SVOD-TBH is domestic professional means of removing contamination from the inner surface of different devices. Based on SVOD-TVN detergents are prepared by dissolving the calculated amount of agent in water (100 g/l) The efficiency of contamination removal is achieved at a detergent temperature of $+30/40 \text{ }^\circ\text{C}$. Water solutions on the basis of SVOD-TBH do not affect the work of treatment plants and merge into a suburban sewer, which does not affect the pollution of the environment.

3 Education and Science in Ukraine in the Period of Global Challenges. Collective Monograph. /Compiled by V. Shpak Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California^ GS Publishing Services, 2024 – 291-295 p.

As it has been identified from practice, the efficiency of the cleansers after accumulation of contamination to a certain limit is reduced and can be restored by the method of regeneration of the cleanser, i.e. the purification of a couple of precipitated contamination particles.

The purpose of further research is to find out the fundamental possibility of regeneration of the inertial cleaner⁴ with the help of the same detergents and to estimate the costs in terms of their required volume.

The condition of the effectiveness of such operation is that the force F_c of interaction of contamination particles with detergents (Stokes force) exceeds the sliding friction force $F_{sl.fr.}$ between a part reached a layer of precipitated contamination particles and their surface layer.

Using the general expressions for the forces acting on a part of pollution, we write them for a given study in the form of:

$$F_c = 3\pi d \cdot v_M \rho_M V = \frac{24Qd v_M \rho_M}{d_B^2} - \left[1 - \frac{4y^2}{d_B^2} \right]$$

$$\text{and} \quad F_{sl.fr.} = f(\rho_r - \rho_m) \frac{\pi d^3}{6} g,$$

where v_M , ρ_M are characteristics of detergents.

The condition of washing the precipitated contamination particles is

$$\frac{24Qd v_M \rho_M}{d_B^2} \left[1 - \frac{4y^2}{d_B^2} \right] \geq f(\rho_r - \rho_m) \cdot \frac{\pi d}{6} g. \quad (2)$$

It is obvious that the fluid expenditure Q per unit time is the parameter that can be affected by the flushing process. So, let's solve inequality (2) with respect to Q :

$$Q = Q_{\text{роб3}} \geq \frac{f(\rho_r - \rho_m) \pi d^2 d_B^4 g}{576 v_M \rho_M \left(\frac{d_B^2}{4} - y^2 \right)}. \quad (3)$$

Consider (3) with data:

$$d_B = 5,3 \text{ cm}, \quad \rho_r = 3 \frac{g}{\text{cm}^3}, \quad f = 0,6,$$

and calculate expenditures of different liquids per unit time. The interval $2,28 \leq y \leq 2,65$ is divided into $y = (2,35; 2,41; 2,47; 2,53; 2,59; 2,645) \text{ cm}$.

The results of calculations for different liquids using formula (3) are given in Table 2.

⁴ Calculation method of the inertial type cleaner for alternative fuels. / Serhii Puzik, Valentyna Groza, Oleksandr Zaporozhets, Maksym Kovhan – Compiled by V. Shpak Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California^ GS Publishing Services, 2024 – 45-50 p.

Table 1

Detergent expenditure per unit time

<i>Nº</i>	<i>Water</i> $\rho_{\text{ж}}=1 \text{ g/cm}^3$ $\nu_{\text{ж}}=0,01 \text{ cm}$	<i>AΦT-1</i> $\rho_{\text{ж}}=0,953 \text{ g/cm}^3$ $\nu_{\text{ж}}=0,052 \text{ cm}$	<i>AΦT-2</i> $\rho_{\text{ж}}=1,1 \text{ g/cm}^3$ $\nu_{\text{ж}}=0,08 \text{ cm}$	<i>Acetone</i> $\rho_{\text{ж}}=0,8 \text{ g/cm}^3$ $\nu_{\text{ж}}=0,04 \text{ cm}$	<i>Solution</i> <i>SVOD-TBH</i> $\rho_{\text{ж}}=0,87 \text{ g/cm}^3$ $\nu_{\text{ж}}=0,0851 \text{ cm}$
1	8.4	1.73	0.52	2.82	0.12
2	10.4	2.14	0.64	3.5	0.15
3	13.8	2.84	0.85	4.6	0.2
4	22.6	4.65	1.4	7.6	0.32
5	40.8	8.4	2.53	13.7	0.58
6	476	98	29.46	159.8	6.8

Analyzing the results, it is possible to draw the following conclusions.

1. The decisive aspect in the regeneration of the contamination deposition surface in force cleaners is to overcome the force of sliding of contamination particles.
2. The regeneration of the power cleaner by considered detergents is principally possible.

The advantages of the use of detergents SVOD-TBH (of Ukrainian manufacturer) are analytically justified.

**MEDICINE AND PHARMACY:
CURRENT ISSUES OF GENERAL MEDICAL
AND PHARMACEUTICAL PRACTICE
IN WAR TIMES**

**based on the materials of the scientific
and practical online conference
with international participation
on May 14, 2025**



Medicine and pharmacy

БОНДАРЕНКО Дмитро Анатолійович,
генеральний директор,
Державна установа “Одеський обласний
центр контролю та профілактики хвороб
МОЗ України”

ДОРОШЕНКО Тетяна Сергіївна,
заступник генерального директора,
Державна установа “Одеський обласний
центр контролю та профілактики хвороб
МОЗ України”

МАКСИМЕНКО Юлія Андріївна,
в. о. завідувачки відділення промоції здоров'я,
лікар відділу епіднагляду (спостереження)
та профілактики неінфекційних хвороб,
Державна установа “Одеський обласний
центр контролю та профілактики хвороб
МОЗ України”
ORCID ID: 000-0003-4636-198X
Україна

ЩОДО ПОШИРЕНOSTІ НАДЛИШКОВОЇ МАСИ ТІЛА ТА ОЖИРІННЯ СЕРЕД ЖІНОК МОЛОДОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ВІКУ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Надлишкова маса тіла (далі – НМТ) та ожиріння визначаються вченими як ненормальне або надмірне накопичення жиру, що становить ризик для здоров'я. За даними вчених, люди із ожирінням, навіть якщо у них ще не виявлено лабораторно метаболічних порушень, у порівнянні з метаболічно здоровими людьми, які мають нормальну вагу, наражаються на підвищений ризик виникнення супутніх неінфекційних захворювань (далі – РВСНІЗ), що дозволяє припустити, що здорової моделі збільшення ваги не існує. Ожиріння є поширеною проблемою в глобальному масштабі, яка тісно пов'язана з виникненням таких небезпечних НІЗ, як гіпертонія, серцево-судинні розлади та діабет. За даними вчених, ожиріння є універ-

сальним фактором передбачення (предиктором) передчасної смерті. Так, у 2019 році приблизно 5 млн смертей від НІЗ були спричинені вищим за оптимальний індексом маси тіла (далі – ІМТ)¹.

У той же час останні десятиріччя у всьому світі спостерігається значне зростання чисельності людей із НМТ та ожирінням. Так, за даними ВООЗ, з 1990 по 2022 рік відсоток дорослих (18 років і старше), які мають ожиріння, зріс більш ніж у 2 рази (1990 – 7 %; 2022 – 16 % – 890 млн осіб). Слід зазначити, що у 2022 році НМТ мали 43 % дорослих (2,5 млрд осіб). Рівень НМТ та ожиріння продовжує зростати².

Метою цього дослідження було вивчення поширеності НМТ, ожиріння та пов'язаних з ними РВСНІЗ серед жінок молодого та середнього віку в Одеській області.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось з вересня 2023 року по травень 2024 року шляхом анонімного онлайн-опитування за створеною Google-формою. В анкеті просили вказати стать, вік, місце проживання, дані щодо маси та довжини тіла. Також жінкам було задано питання чи були вони вагітними на час опитування.

Визначення НМТ, ожиріння та РВСНІЗ проводили за ІМТ.

ІМТ розраховується шляхом поділу ваги (в кілограмах) на зріст (у метрах) в квадраті. Оцінювання отриманих результатів проходило за стандартом розрахованим для європеїдної популяції:

- знижена маса тіла – ІМТ менше $18,59 \text{ кг/м}^2$ (низький РВСНІЗ, але присутній ризик інших захворювань);
- нормальна маса тіла – ІМТ у межах $18,5\text{--}24,99 \text{ кг/м}^2$ (звичайний РВСНІЗ);
- НМТ – ІМТ у межах $25\text{--}29,9 \text{ кг/м}^2$ (підвищений РВСНІЗ);
- ожиріння – тоді як ІМТ 30 кг/м^2 або вище:
 - $30\text{--}34,99 \text{ кг/м}^2$ – ожиріння I ступеню (високий РВСНІЗ);
 - $35\text{--}39,99 \text{ кг/м}^2$ – ожиріння II ступеню або виражене ожиріння (дуже високий РВСНІЗ);

1 Kramer C. K., Zinman B., Retnakaran R. Are Metabolically Healthy Overweight and Obesity Benign Conditions?. *Annals of Internal Medicine*. 2013. Vol. 159, no. 11. P. 758. URL: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-159-11-201312030-00008> (date of access: 06.11.2024); Suwała S., Junik R. Body Mass Index and Waist Circumference as Predictors of Above-Average Increased Cardiovascular Risk Assessed by the SCORE2 and SCORE2-OP Calculators and the Proposition of New Optimal Cut-Off Values: Cross-Sectional Single-Center Study. *Journal of Clinical Medicine*. 2024. Vol. 13, no. 7. P. 1931. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm13071931> (date of access: 06.11.2024); The Worldwide Obesity Epidemic / P. T. James et al. *Obesity Research*. 2001. Vol. 9, S11. P. 228S–233S. URL: <https://doi.org/10.1038/oby.2001.123> (date of access: 06.11.2024).

2 Obesity and Cardiovascular Disease: A Scientific Statement From the American Heart Association / T. M. Powell-Wiley et al. *Circulation*. 2021. Vol. 143, no. 21. URL: <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000973> (date of access: 06.11.2024)

– 40 кг/м² і більше – ожиріння III ступеню або хворобливе ожиріння (надзвичайно високий РВСНІЗ)³.

Об'єктом дослідження були жінки, які проживають у Одеській області. Всього пройшли онлайн-опитування 179 жінок, у т.ч.: молодого (25-44 років) – 100 жінок та середнього віку (45-59 років) – 79 жінок; з них проживають в міській місцевості (далі – ММ) – 114 жінок, в сільській місцевості (далі – СМ) – 65 жінок.

Статистичну обробку результатів дослідження проводили за допомогою стандартних методів з розрахунком відносних величин.

Результати та їх обговорення. Дослідження показало, що приблизно половина опитаних жінок мали НМТ або ожиріння (26,26±3,29 % та 26,82±3,31 %, відповідно). Зокрема, 15,64±2,72 % жінок мали ожиріння I ступеню, 7,82±2,01 % – ожиріння II ступеню і 3,35±1,35 % – ожиріння III ступеню. Тільки кожні дві з п'яти опитаних жінок мали нормальну масу тіла (43,02±3,70 %). 3,91±1,45 % опитаних жінок мали недостатню масу тіла.

Аналіз відповідей респонденток в залежності від їх віку виявив, що більшість жінок у молодому віці має нормальну масу тіла (56,00±4,96 %), в той час як для жінок середнього віку більш притаманні ожиріння та НМТ (41,77±5,55 % та 30,38±5,17 %, відповідно). Нормальну масу тіла у середньому віці має тільки чверть жінок – вдвічі менше (26,58±4,97 %; $t=4,19$, $p<0,05$). Кількість жінок з ожирінням з віком зростає майже у 3 рази (з 15,00±3,57 % до 41,77±5,55 %; $t=3,09$, $p<0,05$), у тому числі зросла у 2 рази кількість жінок з ожирінням I ступеня, в 7,5 разів – жінок з ожирінням II ступеня, в 2,5 рази ожиріння III ступеня (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл жінок за показниками індексу маси тіла в залежності від віку

Джерела: дослідження автора

	25-44 років, %, $P \pm m$	45-59 років, %, $P \pm m$	t	p
1	2	3	4	5
недостатня маса тіла	6,00±2,37	1,27±1,26	1,76	>0,05

3 The Worldwide Obesity Epidemic / P. T. James et al. *Obesity Research*. 2001. Vol. 9, S11. P. 228S–233S. URL: <https://doi.org/10.1038/oby.2001.123> (date of access: 06.11.2024); Obesity and Cardiovascular Disease: A Scientific Statement From the American Heart Association / T. M. Powell-Wiley et al. *Circulation*. 2021. Vol. 143, no. 21. URL: <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000973> (date of access: 06.11.2024)

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
нормальна маса тіла	56,00±4,96	26,58±4,97	4,19	<0,05
надлишкова маса тіла	23,00±4,21	30,38±5,17	1,11	>0,05
ожиріння, у т.ч.	15,00±3,57	41,77±5,55	4,06	<0,05
ожиріння I ступеню	11,00±3,13	21,52±4,62	1,88	>0,05
ожиріння II ступеню	2,00±1,40	15,19±4,04	3,09	<0,05
ожиріння III ступеню	2,00±1,40	5,06±2,47	1,08	>0,05

Аналіз отриманих даних в залежності від статусу населеного пункту показав, що в ММ достовірно більше жінок з нормальною масою тіла (49,12±4,68 % проти 32,31±5,80 %, відповідно; $t=2,26$, $p<0,05$), в той час як у СМ – з НМТ (38,46±6,03 % проти 19,30±3,70 %, відповідно; $t=2,71$, $p<0,05$). Ожиріння зустрічається майже у кожної четвертої респондентки незалежно від статусу населеного пункту. Недостатню масу тіла мали 5,26±2,09 % міських жінок (молодого віку) та одна жителька села (середнього віку) (табл. 2).

Таблиця 2

**Розподіл жінок за показниками індексу маси тіла
в залежності від статусу населеного пункту**

Джерела: дослідження автора

	місто, %, $P\pm m$	село, %, $P\pm m$	t	p
недостатня маса тіла	5,26±2,09	1,54±1,53	1,44	>0,05
нормальна маса тіла	49,12±4,68	32,31±5,80	2,26	<0,05
надлишкова маса тіла	19,30±3,70	38,46±6,03	2,71	<0,05
ожиріння, у т.ч.	26,32±4,12	27,69±5,55	0,20	>0,05
ожиріння I ступеню	14,04±3,25	18,46±4,81	0,76	>0,05
ожиріння II ступеню	9,65±2,77	4,62±2,60	1,33	>0,05
ожиріння III ступеню	2,63±1,50	4,62±2,60	0,66	>0,05

Висновки. В ході аналізу отриманих даних анонімного онлайн-опитування жінок, які проживають у Одеській області, були зроблені наступні висновки:

З віком знижується майже вдвічі кількість жінок з нормальною масою тіла (молодий вік – $56,00 \pm 4,96$ %, середній вік – $26,58 \pm 4,97$ %; $t=4,19$, $p<0,05$), та втричі зростає кількість жінок з ожирінням ($15,00 \pm 3,57$ % та $41,77 \pm 5,55$ %, відповідно; $t=4,06$, $p<0,05$).

У міській місцевості переважають жінки з нормальною масою тіла (вдвічі більше ніж в сільській місцевості: $49,12 \pm 4,68$ % та $32,31 \pm 5,80$ %, відповідно; $t=2,26$, $p<0,05$), в той час як у сільській місцевості – з надлишковою масою тіла (вдвічі більше ніж у міській місцевості: $38,46 \pm 6,03$ % та $19,30 \pm 3,70$ %, відповідно; $t=2,71$, $p<0,05$). Ожиріння, що в містах, що в селах має кожна четверта жінка.

Результати дослідження вказують на існування в області проблеми щодо надлишкової маси тіла та ожиріння у жінок, що підвищує ризик виникнення супутніх неінфекційних захворювань, і, в свою чергу, потребує подальшої роботи з населенням.

ВАРТОЛОМЕЄВА Тетяна Володимирівна,
лікар дерматовенеролог,
Медичний центр «Велес»,
м.Київ, Україна

АКТИВНІ ФАРМАЦЕВТИЧНІ ІНГРЕДІЄНТИ У СКЛАДІ ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ СУМІШЕЙ: БЕНЗОІЛПЕРОКСИД, ІЗОТРЕТИНОЇН, АЗЕЛАЇНОВА КИСЛОТА

Сучасна терапія базується на застосуванні активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ), серед яких особливе місце займають бензоїлпероксид, ізотретиноїн та азелаїнова кислота. Ці сполуки демонструють високу ефективність у терапії акне, розацеа, пігментаційних розладів, а також застосовуються у програмах anti-age терапії.

Водночас їх використання потребує уважного підходу через можливі побічні ефекти та вплив факторів навколишнього середовища, зокрема сонячного випромінювання.

Метою даного матеріалу є аналіз переваг та ризиків використання бензоїлпероксиду, ізотретиноїну та азелаїнової кислоти у дерматологічній практиці, а також їх роль в омолоджувальній фармакології

БЕНЗОЇЛПЕРОКСИД

Користь:

- Антибактеріальний ефект: особливо активний проти *Cutibacterium acnes* (раніше *Propionibacterium acnes*), що робить його першим вибором у лікуванні акне.
- Комедонолітична дія: сприяє зменшенню кількості відкритих та закритих комедонів.
- Відсутність антибіотикорезистентності: при використанні не формується стійкість мікроорганізмів, що важливо для тривалої терапії.

Ризики:

- Подразнення шкіри: еритема, лущення, відчуття печіння.
- Алергічні реакції: у рідкісних випадках можливий розвиток контактного дерматиту.
- Фотосенсибілізація: підвищена чутливість до ультрафіолету.

Бензоїлпероксид – це органічна сполука з вираженими антимікробними та кератолітичними властивостями

ІЗОТРЕТИНОЇН

Ретинолабо 1,1,5-триметилциклогексен-5-іл-6)-(3,7-диметилнонате-траен-2,4,6,8-ол-1) відноситься до жиророзчинних вітамінів, є похідним вітаміну А.

Ретинол є одним із найвідоміших інгредієнтів для догляду за шкірою. Він використовується в медичній практиці для лікування проблем зі шкірою, а також для лікування акне. Ретинол не видаляє мертві клітини шкіри. Натомість невеликі молекули ретинолу проникають глибоко під епідерміс та допомагають нейтралізувати вільні радикали. Ретинол допомагає збільшити вироблення еластину та колагену, в результаті чого зменшуються зморшки, розширені пори. Запропоновано багато підходів для уповільнення процесу старіння, відновлення старої шкіри. Однак, не існує надійних методів лікування для атрофії шкіри. Ретинол продемонстрував свою ефективність у сприянні омолоджуючим ефектам

для шкіри. Він стимулює синтез колагену, зменшує окислювальний стрес, модулює експресію генів.

Механізми дії ретинолу

Серед механізмів дії ретинолу активація рецепторів ретиноевої кислоти (RAR), ретиноїдних X рецепторів (RXR), за допомогою яких регулюється транскрипція генів та диференціація клітин. Ретинол може модулювати активність факторів росту та цитокінів. Ретиноева кислота (RA) є активною формою вітаміну А, яка називається ретинолом (ROL). ROL служить попередником ретиноевої кислоти і може метаболізуватися на активний метаболіт у шкірі. В шкірі ретинол піддається послідовному перетворенню в ретинальдегід і в ретиноеву кислоту. Важливо знати про можливі побічні ефекти під час використання ретиноевої кислоти. Місцеве застосування ROL має значну перевагу перед ретиноевою кислотою. Зменшуються побічні ефекти – еритема, лущення, сухість, свербіж. Хоча для досягнення результатів необхідна значно вища концентрація ROL (0,4 %). ROL викликає гістологічні зміни – потовщення епідермісу. Надмірне використання місцево ROL може призвести до потенційних побічних ефектів – це сухість шкіри, почервоніння та лущення. Споживання надмірної кількості перорально ретинолу може призвести до шкідливих наслідків – нудота, блювання, головні болі та запаморочення (LD501,5 г/кг). Для місцевого лікування шкіри використовують похідні ретинолу: ретинілпальмітат, ретинальдегід, адапален, третиноїн, тазаротен. Ретинілпальмітат і ретинол є більш м'якими формами ретиноїдів. Ретинальдегід, адапален, третиноїн і тазаротен є сильнішими та ефективнішими в лікуванні проблем шкіри.

Ізотретиноїн

Користь:

- Себостатична дія: істотне зменшення вироблення шкірного сала.
- Антиккомедогенна активність: нормалізація процесів кератинізації.
- Протизапальний ефект: зниження вираженості запальних уражень.

Ризики:

- Тератогенність: абсолютне протипоказання при вагітності.
- Побічні ефекти: сухість шкіри, губ, очей, носових ходів; можливі зміни настрою.
- Фотосенсибілізація: шкіра стає надзвичайно чутливою до сонячного випромінювання.

- Гіпервітаміноз А розвивається в результаті надмірного споживання вітаміну А (вітамінний концентрат, харчові добавки, збагачені вітамінами продукти). Захворюваність на хронічний гіпервітаміноз А стає проблемою в світі через збільшення використання добавок вітаміну А у дітей, в країнах, де дефіцит вітаміну А є звичним явищем. Крім того, прийом вітаміну А у великих дозах може бути токсичним.

АЗЕЛАЇНОВА КИСЛОТА

Користь:

- Протизапальна дія – зменшує запалення при акне та розацеа.
- Відсутність фотосенсибілізації – у порівнянні з іншими АФІ азелаїнова кислота краще переноситься.
- Вплив на гіперпигментацію – інгібує тирозиназу, зменшуючи прояви постзапальної гіперпигментації.
- Антибактеріальний ефект – активність проти *Cutibacterium acnes* та *Staphylococcus epidermidis*

Азелаїнова кислота – насичена дикарбонова кислота природного походження, яка має протизапальні та антибактеріальні властивості

Ризики:

- Подразнення шкіри: печіння, свербіж, еритема на початкових етапах лікування. Гіпопигментація: у рідкісних випадках можливе освітлення шкіри у пацієнтів із темним фототипом

Використання бензоїлпероксиду, ізотретиноїну та азелаїнової кислоти в anti-age фармакології

Ізотретиноїн

- Активація колагеноутворення: ретиноїди стимулюють фібробласти до синтезу колагену типу I і III, відновлюючи архітектуру дерми.
- Нормалізація процесів кератинізації: зменшення гіперкератозу призводить до вирівнювання текстури шкіри та зменшення глибини зморшок.
- Покращення кольору шкіри: завдяки нормалізації меланогенезу ретиноїди зменшують прояви фотостаріння, включаючи пігментні плями.
- Протизапальна дія: хронічне стерильне запалення («inflammaging») є важливою складовою старіння шкіри, і ізотретиноїн допомагає зменшити цей процес

Азелаїнова кислота

- Антиоксидантний ефект: нейтралізує вільні радикали, що сприяє збереженню клітинної цілісності і запобігає окисному стресу.
- Корекція гіперпигментацій: шляхом інгібування тирозинази знижує утворення меланіну, що робить її незамінною у лікуванні постзапальної гіперпигментації та мелази.
- Нормалізація мікробіому шкіри: підтримання здорового мікробіому є перспективним напрямком у запобіганні старінню шкіри через модуляцію локального імунітету.
- Зменшення почервоніння: завдяки протизапальній дії, яке часто посилюється з віком через телеангіектазії та судинні зміни.

Бензоїлпероксид

- Контроль себореї: гіперсеборея, характерна для деяких типів старіння шкіри (“seborrheic aging”), може частково коригуватися за допомогою коротких курсів бензоїлпероксиду.
- Покращення текстури шкіри: завдяки легкому кератолітичному ефекту може бути застосований для поверхневого оновлення епідермісу, зменшення тьмяності шкіри.
- Профілактика акне у дорослих: оскільки акне у зрілому віці (post-adolescent acne) стає все більш поширеним, контроль висипань є важливою частиною anti-age догляду.

Вплив сонячного випромінювання на активні фармацевтичні інгредієнти

Бензоїлпероксид – під дією УФ-випромінювання може розкладатися, викликаючи подразнення; рекомендовано використання сонцезахисних засобів. **Ізотретиноїн** – вкрай висока фоточутливість; обов’язкове використання сонцезахисних кремів SPF 50+, уникнення прямих сонячних променів. **Азелаїнова кислота** – добре переноситься при впливі сонця, проте для мінімізації ризику постзапальної гіперпигментації також рекомендується фотозахист

Фотостабільність та фотосенсибілізація є критичними аспектами у використанні АФІ. Застосування сонцезахисних засобів має бути обов’язковим компонентом терапії при використанні будь-яких фоточутливих препаратів.

Висновки. Ефективність – висока ефективність у лікуванні запальних шкірних захворювань. Безпечність – потребує моніторингу побічних ефектів та фотозахисту. Індивідуалізація – персоналізований підхід до вибору та дозування.

Бензоїлпероксид, ізотретиноїн та азелаїнова кислота є невід’ємними компонентами сучасної дерматологічної практики. Вони демонструють високу ефективність у лікуванні запальних шкірних захворювань і знаходять своє місце у програмах anti-age терапії. Проте їх застосування потребує уважного моніторингу можливих побічних ефектів та обов’язкового використання фотозахисту. Індивідуалізація підходу до вибору та дозування активних інгредієнтів дозволяє досягти максимального терапевтичного ефекту при мінімізації ризиків, що забезпечує високий рівень безпеки та задоволеності пацієнтів

Olena WELCHINSKA,

Doctor of pharmaceutical sciences, Professor,
Bogomolets National Medical University,
ORCID ID: 0000-0001-7023-8493
Kyiv, Ukraine

Pawel SYSA,

Doctor of veterinary sciences, Professor,
Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Warsaw
ORCID ID: 0000-0001-6989-1559
Warsaw, Poland

STANDARDIZED METHODS FOR ANALYSIS OF THE ACTIVE SUBSTANCE TRIAMCINOLOL IN VETERINARY

Triamcinolol or (11 β ,16 α)-9-fluoro-11,16,17,21-tetrahydroxypregna-1,4-diene-3,20-dione is a synthetic glucocorticosteroid, which is used as an active pharmaceutical ingredient (API) in the form of salts: acetone, benetonide, furetonide, hexacetone and diacetate. Triamcinolol, together with other components, is used in the form of combination drugs and exhibits anti-inflammatory, antishock, antiallergic, and immunosuppressive effects. The production of high-quality and effective medicines to improve the quality

and prolong life, providing the best treatment is important not only for pharmaceutical practice, but also for veterinary medicine¹.

API used for the manufacture of medicinal products must meet all quality criteria. The quality, efficacy and safety of medicinal products for use in medical, pharmaceutical and veterinary practices are fundamental aspects. All stages of medicinal product analysis are controlled in accordance with established requirements of the European Medicines Agency (EMA) – <https://www.ema.europa.eu/>), the Food and Drug Administration (FDA—<https://www.fda.gov/>). Analysis of medicinal products of chemical origin is carried out according to Pharmacopoeias - the State Pharmacopoeia of Ukraine (SPU), the European Pharmacopoeia (Eur. Ph.), the British Pharmacopoeia (Br. Ph.), the United States Pharmacopoeia (USP). The literature describes the use of liquid chromatography (LC), mass spectrometry (MS), proton magnetic resonance (¹H NMR spectra), or a combination of these methods in scientific studies of the substance triamcinolol².

The State Pharmacopoeia of Ukraine (SPU) does not regulate the analysis of the substance triamcinolol, medicinal products containing triamcinolol. The European Pharmacopoeia regulates the analysis of the substance triamcinolol, its salts – acetone, hexacetone³. Identification of triamcinolol and its acetone and hexacetone salts is carried out by methods of infrared absorption spectrophotometry (2.2.24) and thin-layer chromatography (TLC) (2.2.27) with detection in ultraviolet light at 254 nm. Triamcinolol hexacetone is identified by the obtained chromatograms: the principal peak in the chromatogram of test solution is similar in retention time and size to the principal peak in the chromatogram of reference solution. In addition, all three compounds are identified by physical characteristics, for example, by the value of specific optical rotation (2.2.7). Purity and related compounds are determined

- 1 Argenti, D, Jensen, B.K., Hensel, R. et al. A mass balance study to evaluate the biotransformation and excretion of [14C]-triamcinolone acetone following oral administration. *J Clin Pharmacol.* 2000; 40:770-780; McIntyre PW, Wu JL, Kolte R, Zhang R, Gregory RL, Bruzzaniti A, et al. The antimicrobial properties, cytotoxicity, and differentiation potential of double antibiotic intracanal medicaments loaded into hydrogel system. *Clinical Oral Investigations.* 2019; 23: 1051– 1059; Nagendrababu V, Murray PE, Ordinola-Zapata R, Peters OA, Rôças IN, Siqueira JF, et al. PRILE 2021 guidelines for reporting laboratory studies in Endodontology: a consensus-based development. *International Endodontic Journal.* 2021; 54: 1482–1490; Shi J, Lian H, Huang Y, Zhao D, Wang H, Wang C, et al. In vitro genotoxicity evaluation and metabolic study of residual glutaraldehyde in animal derived biomaterials. *Regenerative Biomaterials.* 2020; 7: 619–625.
- 2 Viral Maru, Manisha Rajan Madkaikar , Shumail Sattar, et al. Response of intra canal medicaments on viability and survival of SHEDs Response of intra canal medicaments on viability and survival of SHEDs. *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2022. 46 (5). doi: 10.22514/jocpd.2022.009.
- 3 European Pharmacopoeia. (11-th ed.). Council of Europe, Strasbourg: EDQM. 2022. Vol. 3. P. 4266–4269.

using the LC method (2.2.29) with UV-spectrophotometric detection at 254 nm for triamcinolol acetonide and hexacetonide, at 238 nm for triamcinolol. The peculiarities of the chromatography conditions for the three compounds are the composition of the mobile phase and UV detection (tab.1)

Table 1

**The chromatography conditions of Triamcinolol,
Triamcinolol acetonide and Triamcinolol hexacetonide**

Source: European Pharmacopoeia

Chromatography conditions	Triamcinolol	Triamcinolol acetonide	Triamcinolol hexacetonide
Mobile phase	methanol R-water for chromatography R	mobile phase A: acetonitrile R-water for chromatography R; mobile phase B: water for chromatography R-acetonitrile R	water for chromatography R-methanol R
Detection	238 nm	254 nm	254 nm
Flow rate	1.0 mL/min	1.5 mL/min	2.0 mL/min

Depending on the chemical structure and nature of the test compounds, their solubility, and the presence of certain functional groups, various organic solvents and their combinations are used for the mobile phase: methanol, water for chromatography, acetonitrile. The number and structure of impurities - related substances - depend on the characteristics of the chemical structure of compounds. For triamcinolone, three specific impurities A, B, C were tested: A. 9-fluoro-11 β ,17-dihydroxy-3,20-dioxopregna-1,4-diene-16 α ,21-diyl diacetate (triamcinolone 16,21-diacetate), B. 9-fluoro-11 β ,16 α ,17-trihydroxy-3,20-dioxopregna-1,4-dien-21-yl acetate (triamcinolone 21-acetate), C. 9-fluoro-11 β ,16 α ,17,21-tetrahydroxypregn-4-ene-3,20- dione (pretriamcinolone). For triamcinolone acetonide, two specific impurities B, C were tested: B. 9-fluoro-11 β ,21-dihydroxy-16 α ,17-(1-methylethylidenedioxy)pregna-1,4,14-triene-3,20-dione(Δ 14-triamcinoloneacetonide),C.9-fluoro-11 β ,21,21-trihydroxy-16 α ,17-(1-methylethylidenedioxy)pregna-1,4-diene-3,20-dione (triamcinolone acetonide 21-aldehyde hydrate). For triamcinolone hexacetonide, one specific impurity B was tested: B. (2'R)-9-fluoro-11 β -hydroxy-2'-methyl-3,20-dioxo- (16 β H)-[1,3] dioxolo[4',5':16,17]pregna-1,4-dien-21-yl 3,3-dimethylbutanoate (tab.2).

Table 2

Specific impurities of Triamcinolol and its derivatives

Source: European Pharmacopoeia

Substance	Specific impurities
1	2
Triamcinolol	A.9-fluoro-11β,17-dihydroxy-3,20-dioxopregna-1,4-diene 16α,21-diyl diacetate (triamcinolone 16,21-diacetate) B.9-fluoro-11β,16α,17-trihydroxy-3,20-dioxopregna-1,4-dien-21-yl acetate (triamcinolone 21-acetate) C.9-fluoro-11β,16α,17,21-tetrahydroxypregn-4-ene-3,20-dione (pretriamcinolone)

Continuation of table 2

1	2
Triamcinolol acetone	B. 9-fluoro-11β,21-dihydroxy-16α,17-(1-methylethylidenedioxy)pregna-1,4,14-triene-3,20-dione (Δ14-triamcinolone acetone) C. 9-fluoro-11β,21,21-trihydroxy-16α,17-(1-methylethylidenedioxy)pregna-1,4-diene-3,20-dione (triamcinolone acetone 21-aldehyde hydrate)
Triamcinolol hexacetone	B. (2'RS)-9-fluoro-11β-hydroxy-2'-methyl-3,20-dioxo-(16βH)-[1,3]dioxolo[4',5':16,17]pregna-1,4-dien-21-yl 3,3-dimethylbutanoate

Identification of triamcinolone substances and its salts can be carried out using non-pharmacopoeial reactions on functional groups: keto, hydroxy, acetyl and unsaturated bonds. An important task remains the implementation of modern methods and their combinations: optical emission spectrometry with inductively coupled plasma (OES-ICP), plasma atomic emission spectrometry (PAES), mass spectrometry (MS) in the analysis of triamcinolol and its derivatives in order to increase the efficiency of the analysis⁴.

- 4 Welchinska O., Nizhenkovska I., Meleshko R. Suchasni pidkhody do farmatsevtichnoho analizu metodom VERKH alkaloyidu paklitakselu [Modern approaches to the pharmaceutical analysis by HPLC of paclitaxel alkaloid]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2024, 3, 168–174, DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-3-168>; Welchinska O., Meleshko R., Nizhenkovska I. Using the HPLC method to study a mixture of substances containing acyclovir and hydrocortisone. *Modern medicine, pharmacy and psychological health*. Kyiv, 2024. 3 (17). P. 51–59 [in Ukrainian]

ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна,
д-р фармацевт. наук, професор,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0001-7023-8493

НІЖЕНКОВСЬКА Ірина Володимирівна,
д-р мед. наук, професор,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0001-5065-3147
Київ, Україна

СУЧАСНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ АНАЛІЗ: ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ

Світова фармацевтична промисловість зосереджена на розробці та виробництві найякісніших ліків для підвищення якості та подовження життя, забезпечення пацієнтів найкращим лікуванням. Процес створення лікарського засобу включає послідовні етапи, починаючи із скринінгу та ідентифікації потенційних сполук-кандидатів на лікарський засіб, оцінки біологічної активності та токсичності, аналізу лікарського засобу та визначення домішок, доклінічних та клінічних досліджень, фінального

етапу – реєстрації лікарського засобу. Тривалий час у фармацевтичній промисловості домінували лікарські засоби хімічного походження. За останні роки на фармацевтичному ринку з'явилися лікарські засоби більш складного складу – біофармацевтичні засоби. Тому, стає актуальним біотехнологічний підхід у процесі створення біофармацевтичних лікарських засобів. Біофармація займається фармацевтичними лікарськими засобами, які створюються на основі екстрагованих або напівсинтетизованих біологічних систем: живі клітини, мікробні організми, клітина та тканини рослин, тварин і людини. Біофармацевтичні препарати виробляються з рекомбінантних або нереконбінантних систем експресії клітинної культури.

Вони повинні бути високо очищеними і аналізуються за допомогою набору вискоефективних аналітичних процедур. Така вимога пояснюється притаманною складністю структури та різноманітністю біофармацевтичних продуктів¹. До біофармацевтичних лікарських засобів відносяться антибіотики, синтетичні пептиди і поліпептиди, вітаміни, гепарини, клітинні метаболіти, продукти ДНК, алергенні екстракти, звичайні вакцини, цільна кров, клітини крові, клітинна кров. Їх називають біосимілярами або лікарськими засобами біологічного/біотехнологічного походження.

Якість, ефективність та безпека лікарських засобів є фундаментальними аспектами фармацевтичної промисловості. Усі етапи циклу розробки лікарських засобів контролюються відповідно до встановлених вимог Європейського агентства з лікарських засобів (ЕМА) – <https://www.ema.europa.eu/>), регуляторними органам країн Європи, Управлінням з харчових продуктів і медикаментів (FDA – <https://www.fda.gov/>). Аналіз лікарських засобів хімічного і біологічного походження виконується за Фармакопеями – Державною Фармакопеею України (ДФУ), Європейською Фармакопеею (Eur. Ph.), Британською Фармакопеею (Br. Ph.), Фармакопеею США (USP).

Метод мас-спектрометрії (MS) є сучасним високотехнологічним методом аналізу біологічно активних речовин, однак рекомендації його використання в Фармакопеях (Eur. Ph., USP, USP–NF) залишається дуже обмеженим.

1 Abd Allah FI, Almrasy AA, Abdelhmaid A, Abd-Elmegid OA, Alkashlan A, El-Attar A. Development and validation of a ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for quantifying free and total dabigatran in human plasma: An application for a bioequivalence study. Biomedical Chromatography. 2022;36(7):e5382; Abdel-Rehim M, Pedersen-Bjergaard S, Abdel-Rehim A, Lucena R, Moein MM, Cárdenas S, Miró M. Microextraction approaches for bioanalytical applications: An overview. Journal of Chromatography A. 2020;1616:460790.

Методи із застосуванням *MS* використовуються для ідентифікації, напівкількісного аналізу, для виконання граничних тестів, кількісного визначення, для ідентифікації та кількісного аналізу фармацевтичних домішок. Для ідентифікації сполук за рекомендаціями USP використовується моноізотопна маса з використанням *MS* без методів поділу.

Використання комбінації методів рідинна хроматографія-мас-спектрометрія (*LC-MS*) у Фармакопеях менше поширені порівняно з комбінацією методів газова хроматографія-мас-спектрометрія (*GC-MS*). Певною мірою комбінація *LC-MS* доповнюється комбінацією *GC-MS*: визначення нітрозамінів (USP, Eur. Ph.). Комбінація *LC-MS* використовується в Eur. Ph. для підтвердження аристокієвої кислоти у складі лікарських засобів рослинного походження, контамінанти піролізидинових алкалоїдів, домішки В озельтамівіру фосфату, споріднених речовин в мельдонію дигідраті².

Комбінацію методів оптичної емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (*OES-ICP*) та плазменеву атомно-емісійну спектрометрію (*PAES*), мас-спектрометрію з індуктивно-зв'язаною плазмою (*MS-ICP*) імплементують у аналіз мікроелементів у складі об'єктів біотехнологічного походження. Комбінація *ICP-MS* використовується для виконання граничних тестів на важкі метали у складі рослинних лікарських засобів та лікарської рослинної сировини (Eur. Ph.), при аналізі тетрамібі тетрафторборату міді для радіофармацевтичних засобів (Eur. Ph.), при визначенні плумбуму в магнію гідроксиду (USP).

Через складність біофармацевтичних структур для їх аналізу поєднання ефективних ортогональних та додаткових аналітичних методів залишається актуальним. Під час аналізу цих лікарських засобів контролюють параметри консистенції, стабільності, гліканового профілю тощо. Серед аналітичних методів використовують спектроскопічний метод, рідинну хроматографію та електрофорез. Серед хроматографічних методів особливо важно впровадити у практику фармацевтичного аналізу методи іонообмінної хроматографії (*IEC*), гідрофобної взаємодії (*HIC*).

2 Khalikova M, Jireš J, Horáček O, Douša M, Kučera R, Nováková L. What is the role of current mass spectrometry in pharmaceutical analysis? *Mass Spectrom Rev.* 2024;43:560-609. DOI: <https://doi.org/10.1002/mas.21858>; USP-NF 2022; Issue 1; European Medicines Agency, QRD general principles regarding the SmPC information for a generic/hybrid/biosimilar product, EMA/627621/2011 rev.1. 2018.

У цих методах часто використовуються енергонезалежні буфери у високій концентрації, органічні модифікатори, кислий рН рухомої фази та підвищена температура.

При аналізі на неушкоджену молекулярну рівні визначають молекулярну масу, чистота продукту, виконують ідентифікацію білкових фрагментів, встановлюють модифікації та домішки у зразку, визначають глікопротеїновий профіль та молекулярний скелет і глікани. Як правило, аналіз біофармацевтичних лікарських засобів розпочинається з аналізу інтактних молекул. Відповідно до ICH Q6B молекулярну масу або розмір можна визначити за допомогою ексклюзійної хроматографії (*SEC*), яка відома під назвою гель-проникаюча хроматографія (*GPC*). Електрофорез у поліакриламідному гелі додецилсульфату натрію (*SDS-PAGE*) – це особливий тип електрофорезу для оцінки молекулярної маси білків. Він денатурує білки та покриває їх негативним зарядом. Білки можна розділити за їхньою молекулярною масою, а не за формою та зарядом. Отримана інформація на рівні інтактної молекули містить не тільки дані про молекулярну масу продукту, а, й, його структурну цілісність. Наприклад, присутність вільних легких та важких ланцюгів, напівантитіл, неглікозильованих форм тощо. Велика кількість посттрансляційних або хімічних модифікацій сприяють неоднорідності заряду фрагментів біофармацевтичних лікарських засобів. Ці модифікації визначаються на рівні інтактного білка. Агрегація є одним із критичних параметрів якості (*CQA*) та включена в характеристики хроматографічної картини. Агрегати молекул утворюються в результаті стресу білкових молекул. Вона викликана зміною значень рН, температурою, розчиненням киснем у системі біореактора тощо³.

Для аналізу лікарських засобів та субстанцій лікарських речовин Фармакопей регламентують метод рідинної хроматографії (*LC*). ДФУ та Eur. Ph. регламентують фармацевтичний аналіз Інтерферону α -2 розчину концентрованого, Інтерферону γ -1b розчину концентрованого, Інсуліну людини. Для аналізу цих препаратів рекомендовано використання ме-

3 Mohamed HE, Mohamed AA, Al-Ghobashy MA, Fathalla FA, Abbas SS. Stability assessment of antibody-drug conjugate Trastuzumab emtansine in comparison to parent monoclonal antibody using orthogonal testing protocol. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2018;150:268–277; Molnarova K, Duris A, Jecmen T, Kozlik P. Comparison of human IgG glycopeptides separation using mixed-mode hydrophilic interaction/ion-exchange liquid chromatography and reversed-phase mode. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2021; 413(16):4321–4328.

тодів: рідинна хроматографія з УФ-детектуванням (2.2.29), ексклюзивна хроматографія (2.2.30).

Нами реалізована імплементація у практику фармацевтичного аналізу субстанцій лікарських речовин більш сучасного методу високоефективної рідинної хроматографії (*HPLC*, *ВЕРХ*) з метою підвищення ідентифікаційної результативності аналізу⁴. Так, при аналізі методом *ВЕРХ* субстанції хлоргексидину модифіковано склад рухомих фаз: А (трифлуороацетатна кислота *P* – ацетонітрил *P* – трифлуороацетатна кислота *P* у воді, 0,1 % *P* (20 : 20 : 80, V/V/V), В (трифлуороацетатна кислота *P* – трифлуороацетатна кислота *P* у воді *P* – трифлуороацетатна кислота *P* у ацетонітрилі *P* (10 : 10 : 90, V/V/V). При аналізі методом *ВЕРХ* субстанції гідрокортизону виявлено неідентифіковані домішки: домішка 1 (*Rt*=10,101 хв), домішка 2 (*Rt*=13,266 хв), що викликає сумнів щодо якості субстанції.

Таким чином, актуальним завданням фармацевтичного аналізу є імплементація високочутливих сучасних інструментальних методів, які не регламентовані Фармакопеями або обмежено використовуються для аналізу ліків. Впровадження цих методів у фармацевтичний аналіз є завданням сучасності.

4 Welchinska O., Nizhenkovska I., Meleshko R. (2024). Suchasni pidkhody do farmatsevtichnoho analizu metodom *VERKH* alkaloyidu paklitakselu [Modern approaches to the pharmaceutical analysis by HPLC of paclitaxel alkaloid]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 3, 168–174, DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-3-168>; Вельчинська О., Мелешко Р., Ніженковська І., Горай Т. Використання методу ВЕРХ для дослідження суміші субстанцій із вмістом ацикловіру та гідрокортизону. Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я. Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. Випуск 3 (17). С. 51-59. URL: <http://ir.librarynmu.com/handle/123456789/13827>; Вельчинська О.В., Залевська О.Б. Дослідження неприпустимих домішок у фармацевтичних композиціях метамізолу натрію методом ВЕРХ. *Health & Education*. 2023. № 4. С.102-107. DOI: <https://doi.org/10.32782/health-2023.4>

ЗАЙЦЕВА Галина Миколаївна,
канд. хім. наук, доцент,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0003-3138-6324

ГОЖДЗІНСЬКИЙ Сергій Мартинович,
канд. хім. наук, доцент,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0003-3592-1486

ПУШКАРЬОВА Ярослава Миколаївна,
канд. хім. наук, доцент,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0001-9856-7846
Україна

НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА «ОСНОВИ ПАТЕНТОЗНАВСТВА»: ПРОБЛЕМИ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

У сучасному світі інтелектуальна власність (ІВ) стала ключовим чинником інноваційного розвитку та конкурентоспроможності. В умовах розвитку інноваційної економіки та інтеграції України у глобальний науково-освітній простір особливого значення набуває формування патентної культури серед здобувачів вищої освіти¹. Освіта у сфері інтелектуальної власності сприяє не лише академічній доброчесності, а й стимулює творчу та дослідницьку активність. Одним із ключових інструментів² у цьому контексті є навчальна дисципліна «Основи патентознавства», яка дозволяє студентам опанувати базові знання з авторського та патентного права, оволодіти механізмами захисту інтелектуального продукту та усвідомити власну роль у процесі наукової інновації.

Отже, формування патентної культури серед студентів вищих навчальних закладів є важливим завданням, а навчальна дисципліна «Основи

1 Закон України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" (1994, 2023). Відомості Верховної Ради України, 1994, № 7, ст. 31. Із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 20 березня 2023 року N 2974-ІХ.

2 Sreeramana Aithal, Shubhrajyotsna Aithal (2023). Introducing Systematic Patent Analysis as an Innovative Pedagogy Tool, International Journal of Management Technology and Social Sciences 8(3):395-413 DOI: <https://doi.org/10.47992/IJMTS.2581.6012.0308>

патентознавства» відіграє важливу роль у цьому процесі, проте її впровадження стикається з низкою проблем та викликів

Незважаючи на актуальність, дисципліна «Основи патентознавства» поки що не має системного впровадження у більшості українських ЗВО. Серед ключових проблем – обмежене розуміння її значення, фрагментарне викладання, брак практичного застосування знань, а також низький рівень цифрової інфраструктури для роботи з патентними базами³.

Питання викладання патентознавства активно обговорюються як українськими, так і іноземними дослідниками. Зокрема, у праці⁴ обґрунтовано ефективність інтерактивних методів у навчанні патентного права майбутніх медиків, що сприяє формуванню правової грамотності студентів. За даними дослідження WIPO⁵ (2020), одним із основних викликів у світі є недостатня інтеграція знань з інтелектуальної власності у непрофільні дисципліни, зокрема в технічних та природничих спеціальностях.

Також важливим є міжнародний досвід адаптації патентної освіти до конкретного контексту – наприклад, у роботі⁶ розглядаються практики впровадження патентного права у медичних вишах США, з акцентом на міждисциплінарне навчання та симуляційні проєкти.

Освітні та інституційні бар'єри

Попри наявність окремих освітніх ініціатив, у більшості університетів відсутні чітко сформульовані освітні стандарти або обов'язкові курси з основ патентознавства. Однією з основних перешкод у формуванні патентної культури є недостатня інтеграція знань про ІВ у навчальні програми. Багато студентів не усвідомлюють важливості патентного захисту, що знижує їхню мотивацію до участі в патентній діяльності. Дослідження⁷ показало, що мотиваційні фактори, такі як потреба в особистісному зростанні та усвідомлення переваг інновацій або не

3 Зайцева, Г. М., Стучинська, Н. В., & Пушкарьова, Я. М. (2024). Формування дослідницьких навичок у майбутніх фармацевтів. Медицина та фармація: освітні дискурси, (2), 16–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-2-3>; Гождзінський, С. М., & Лисенко, Т. А. (2025). Підходи до організації та реалізації викладання вибіркової дисципліни «Основи патентознавства. Академічна доброчесність». *Перспективи та інновації науки*, № 1, 340–350. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-340-350](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-340-350).

4 Болотнікова, А., Гождзінський, С., Зайцева, Г., & Пушкарьова, Я. (2022). *Вибіркова дисципліна «Основи патентознавства» як елемент законодавчої освіти майбутніх лікарів*. Collection of Scientific Papers «SCIENTIA», 33–34.

5 World Intellectual Property Organization. (2020). *IP Education and Training: Survey Report*. Geneva: WIPO.

6 Abud, M. J. (2019). Incorporating Intellectual Property Education into Higher Education Curricula: A Global Perspective. *Journal of World Intellectual Property*, 22(5-6), 377–395. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwip.12137>

7 Lin, M.-L., & Yu, T.-K. (2017). Patent Applying or Not Applying: What Factors Motivating Students' Intention to Engage in Patent Activities. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 1845–1854. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/85420>.

отримання належного супроводу з боку викладачів, значно впливають на наміри студентів займатися патентною діяльністю.

Більше того, як зазначають автори⁸ рівень підготовки викладачів у цій сфері часто є недостатнім, а навчальні програми – рудоментальні. Крім того, інституційні бар'єри, такі як відсутність кваліфікованих викладачів з патентного права та обмежені ресурси для проведення практичних занять, ускладнюють ефективне викладання дисципліни. Авторі⁹ наголошують на необхідності розвитку дослідницьких навичок у майбутніх фармацевтів через інтеграцію патентознавства в освітній процес.

Недостатня інтеграція у професійну підготовку

Багато студентів не пов'язують знання з патентознавства з майбутньою професійною діяльністю. Це призводить до низького рівня зацікавленості та участі в патентній діяльності. Дослідження¹⁰ підкреслює важливість використання інтерактивних методів навчання для підвищення зацікавленості студентів у патентному праві. За спостереженнями¹¹, студенти не завжди розуміють практичну цінність патентування результатів власної дослідницької роботи. У поєднанні з відсутністю прикладів з реального життя це призводить до формального ставлення до дисципліни. Іноземний досвід¹² свідчить про ефективність включення патентної тематики у курсові й дипломні проекти, що вимагає адаптації і в Україні.

Доступ до патентних баз

Доступ до актуальних патентних баз даних є критичним для ефективного навчання патентознавству. Проте багато навчальних закладів стикаються з обмеженнями у доступі до таких ресурсів через фінансові чи технічні причини. В Україні існують обмеження щодо вільного й повноцінного доступу до міжнародних баз даних, таких як EPO, USPTO, WIPO PATENTSCOPE, що значно звужує можливості для аналітичної

8 Гождзінський, С. М., & Лисенко, Т. А. (2025). Підходи до організації та реалізації викладання вибіркової дисципліни «Основи патентознавства. Академічна доброчесність». *Перспективи та інновації науки*, № 1, 340–350. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-340-350](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-340-350).

9 Зайцева, Г. М., Стучинська, Н. В., & Пушкарьова, Я. М. (2024). Формування дослідницьких навичок у майбутніх фармацевтів. *Медицина та фармація: освітні дискурси*, (2), 16–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-2-3>

10 Bolotnikova, A., Pushkarova, Y., Zaitseva, G., & Hozhdzinskyi, S. (2022). Interactive Methods in Teaching of the Elective Discipline "Fundamentals of Patent Law" as an Element of the Legal Education of Future Doctors. *European Journal of Education and Pedagogy*, 3(4), 104–108. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejedu.2022.3.4.415>

11 Abud, M. J. (2019). Incorporating Intellectual Property Education into Higher Education Curricula: A Global Perspective. *Journal of World Intellectual Property*, 22(5-6), 377–395. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwip.12137>

12 Там само.

роботи¹³. Наприклад, використання безкоштовних інструментів, таких як Google Patents, може бути недостатнім через обмежений обсяг даних та функціональність. Це обмежує можливості студентів у проведенні якісних патентних досліджень, а цифрова нерівність між закладами освіти поглиблює цю проблему.

Потреба в адаптації світового досвіду

Низка науковців вказує на необхідність адаптувати міжнародні практики під український освітній ландшафт, з урахуванням правової, економічної та цифрової специфіки¹⁴. Світовий досвід у викладанні патентознавства пропонує різноманітні підходи, які можуть бути адаптовані до українського контексту. Наприклад, впровадження систематичного аналізу патентів як інноваційного педагогічного інструменту сприяє підвищенню обізнаності студентів про ІВ. Також важливо враховувати культурні та економічні особливості України при адаптації таких методик.

Для подолання вищезазначених проблем та викликів рекомендується:

- Інтеграція патентознавства в навчальні програми через включення дисципліни «Основи патентознавства» в обов'язкові чи вибіркові компоненти освітніх професійних програм медичних/фармацевтичних спеціальностей.
- Підвищення кваліфікації викладачів шляхом організації тренінгів та семінарів з метою ознайомлення з сучасними методами викладання основ патентознавства.
- Забезпечення доступу до патентних баз таких як Espacenet, USPTO та інші, для проведення практичних занять.
- Мотивація студентів завдяки використанню гейміфікації, конкурсів та інших інтерактивних методів для підвищення зацікавленості студентів у патентній діяльності.
- Адаптація світового досвіду внаслідок вивчення та впровадження кращих практик з інших країн з урахуванням українських реалій.

Таким чином, формування патентної культури серед студентів є важливим кроком до розвитку інноваційного потенціалу країни. Впровад-

13 Bolotnikova, A., Pushkarova, Y., Zaitseva, G., & Hozhdzinskyi, S. (2022). Interactive Methods in Teaching of the Elective Discipline "Fundamentals of Patent Law" as an Element of the Legal Education of Future Doctors. *European Journal of Education and Pedagogy*, 3(4), 104–108. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejedu.2022.3.4.415>.

14 World Intellectual Property Organization. (2020). *IP Education and Training: Survey Report*. Geneva: WIPO.

ження дисципліни «Основи патентознавства» з урахуванням освітніх, інституційних та мотиваційних аспектів сприятиме підготовці фахівців, здатних ефективно захищати та комерціалізувати свої ідеї. Адаптація світового досвіду та забезпечення доступу до необхідних ресурсів є ключовими факторами успішної реалізації цього завдання.

Навчальна дисципліна «Основи патентознавства» має зайняти вагоме місце у структурі сучасної вищої освіти, особливо у медичних та фармацевтичних закладах вищої освіти. Системне викладання основ патентознавства сприятиме не лише захисту інтелектуальної власності, а й розвитку творчого, інноваційного мислення в українському студентстві. Через вивчення дисципліни «Основи патентознавства» майбутні фахівці отримують ключові інструменти для забезпечення правового захисту результатів наукової діяльності та сприяння зростанню конкурентоспроможності національної науки.

Volodymyr ZAITSEV,

Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro,
ORCID ID: 0000-0001-5067-3658
Brasil

Galyna ZAITSEVA,

Ph. D., Associate Professor,
Bogomolets National Medical University
ORCID ID: 0000-0003-3138-6324
Ukraine

COMPETENCY-BASED APPROACH TO TEACHING PHYSICO-CHEMICAL METHODS OF ANALYSIS IN MODERN PHARMACEUTICAL EDUCATION

Medical professionals must be prepared to work with new medical and technical devices, understand current trends in societal change and, accordingly, new healthcare priorities, such as population aging, military conflicts, and pandemics. Currently, pharmaceutical education does not meet the above-defined tasks, and health care systems lag behind the modern needs

of the population. Among the reasons leading to this lag, one can mention the focus of classical teaching methods on theory, pharmaceutical analysis and physico-chemical methods, on technical skills, without a broader contextual understanding of the requirements and the acquisition of the necessary competencies that meet the needs of society.

It is believed that competency-based education (CBE) can provide specialists with the necessary prerequisites for participation in patient- and population-oriented health care. Modern pharmaceutical education has to shift from traditional knowledge-based instruction to CBE¹. The importance of physicochemical methods of analysis in pharmaceutical education.

The physico-chemical methods of analysis are foundational to pharmaceutical education, ensuring that graduates possess not only theoretical knowledge but also the practical skills necessary to perform accurate and reliable analyses. It is essential for training specialists capable of ensuring the quality, safety, and efficacy of medicinal products. They allow students to master techniques used for identification, quantitative determination, and study of the properties of pharmaceutical substances. This is particularly important in the development of new drugs, monitoring their stability, and complying with pharmacopeia standards.

Furthermore, knowledge of physico-chemical methods of analysis helps future pharmacists understand the processes of production, standardization, and certification of medicinal products. They learn to conduct spectroscopic, chromatographic, and electrochemical studies necessary to confirm the composition and purity of drugs. Thus, analytical methods become the foundation for scientific research, quality control, and the practical activities of pharmaceutical industry specialists.

The competency-based approach ensures that students acquire specific, measurable skills that align with both academic standards and professional expectations².

The Essence of Competency-Based Education

The competency-based approach is a teaching method that focuses not only on the transmission of knowledge but also on the development of practical skills,

1 McMullen J., Arakawa N., Anderson C., Pattison L., McGrath S. (2023). A systematic review of contemporary competency-based education and training for pharmacy practitioners and students, *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 19(2), 192-217, <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2022.09.013>.

2 Frank, J. R., Snell, L. S., Cate, O. T., et al. (2010). Competency-based medical education: theory to practice. *Medical Teacher*, 32(8), 638-645. DOI: <https://doi.org/10.3109/0142159X.2010.501190>

abilities, and personal qualities necessary for professional activities. Unlike the traditional approach, which emphasizes memorization, the competency-based approach aims to develop the ability to apply knowledge in real situations, think critically, solve problems, and adapt to new challenges.

In pharmaceutical education, this approach is particularly important because future specialists must not only understand the theory but also be able to analyze medicinal products, interpret research results, comply with standards, and act in the best interests of patients. It prepares students for real work by teaching them how to apply physico-chemical methods of analysis in practical pharmacy, scientific research, and pharmaceutical production.

Competency-based education emphasizes learning outcomes and the demonstration of competencies rather than time spent in the classroom. This paradigm aligns with global trends in medical and pharmaceutical education aimed at producing professionals who can apply their knowledge in real-world scenarios. CBE involves clearly defined outcomes, systematic learning paths, and rigorous assessment strategies.

The integration of CBE in pharmaceutical education fosters critical thinking, problem-solving, and analytical abilities, which are particularly vital in courses involving physico-chemical analysis. Additionally, CBE promotes self-directed learning and encourages students to actively participate in shaping their educational experiences.

Global and Ukrainian Perspectives on CBE

Globally, institutions have increasingly adopted CBE frameworks to align curricula with the demands of modern healthcare³. A similar trend is observed in Brazil, where the Brazilian Ministry of Education, together with the Ministry of Health, are currently developing the curricula for pharmaceutical students based on the competency-based approach⁴. Particularly the Ministry of Education's guidelines emphasize socio-scientific integration and practical competencies⁵. Similarly, Finnish

3 Silva, C. C., & Mortimer, E. F. (2019). Competency-Based Chemistry Education in Brazil: A Case of Socio-Scientific Curriculum Integration. *Science Education International*, 30(4), 259–267; Rocha, K. V., Vasconcelos, M. D. A., & dos Santos, R. C. (2019). Socio-scientific issues and chemistry education: A view from Brazilian teachers. *Education and Science*, 44(198), 1–22. <https://doi.org/10.1590/educacaoescolar2019-198>

4 Reflexão sobre o ensino farmacêutico. URL: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/f91178b6-93bf-47b8-a4b9-a246d07a2c9b>; Competency-based education in pharmacy and pharmaceutical sciences. URL: <https://www.fip.org/file/5338>.

5 Brazil, Ministry of Education. (2018). National Curriculum Guidelines for Higher Education in Chemistry (Diretrizes Curriculares Nacionais).

higher education incorporates core curricula rooted in competencies, ensuring alignment with labor market needs⁶. These international models offer examples of how CBE can support professional development while maintaining academic rigor.

In Ukraine, the movement toward competency-based models is also gaining traction. Information technologies play a key role in enhancing the effectiveness of teaching analytical chemistry, aligning with modern pedagogical demands⁷. Research⁸ demonstrates how CBE frameworks enhance research skills in pharmaceutical education. Moreover, authors⁹ underline the foundational role of analytical chemistry in pharmaceutical curricula, providing theoretical underpinnings for competency development. National initiatives and academic conferences, such as the one highlighted by authors¹⁰, emphasize the importance of innovative teaching approaches in a computer-oriented environment. Further, the Ukrainian scientific community is increasingly recognizing the value of international collaborations and digital tools as part of modern educational reforms.

Disadvantages of traditional methods of teaching physical and chemical methods of analysis in pharmaceutical education

Until now, the teaching of physico-chemical analysis methods in pharmaceutical education has been based on classical pedagogical approaches. The main traditional methods include:

- Lectures, where students received theoretical information about analysis methods, the principles of equipment operation, and data interpretation.
- Practical classes in specially equipped laboratories where students allowed to familiarize themselves with some instrumental analysis techniques and develop basic experimental skills. Occasionally, students were able to work with instruments such as spectrometers and potentiometers.
- Seminars and Group Work for discussion of theoretical aspects, analysis of real-world problems, and examples from pharmaceutical practice.

6 Finnish National Agency for Education (EDUFI). (2016). National Core Curricula for Higher Education.

7 Pushkarova, Y., Chkhalo, O., Reva, T., Zaitseva, G., & Bolotnikova, A. (2021). Using Information Technology in Teaching of the Course «Analytical Chemistry» in Bogomolets National Medical University. Archives of Pharmacy Practice, 12(3), 89–93. URL: <https://doi.org/10.51847/dvMCSbO1SE>.

8 Zaitseva, G. M., Stuchynska, N. V., & Pushkaryova, Y. M. (2024). Formation of Research Skills in Future Pharmacists. Medicine and Pharmacy: Educational Discourses, (2), 16–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-2-3>.

9 Fediushchak, N. K., et al.(2012). Analytical Chemistry. Vinnytsia: Nova Knyha.

10 Kalibabchuk, V. O., et al. (2022). Innovative Technologies in Teaching Chemistry Disciplines in Higher Medical Educational Institutions in a Computer-Oriented Educational Environment. VIII Scientific Conference.

The traditional system of teaching physico-chemical analysis methods, despite its thoroughness, faces several limitations, especially in the context of rapid technological advancements:

- Limited Personalization Opportunities.

Traditional teaching methods do not always consider students' individual needs. Lectures and laboratory classes are conducted in a uniform format for everyone, without adaptation to different levels of preparation or learning styles

- Restricted Access to Modern Equipment

Many universities struggle to update laboratories and acquire expensive analytical equipment. As a result, students may learn theoretical aspects of analysis methods but lack the opportunity to apply them fully.

- Limited Practical Training

Laboratory work generally requires students to be physically present in the classroom, reducing the flexibility of education. Moreover, the number of practical hours is often insufficient for mastering complex analytical techniques.

- Insufficient Integration of an Interdisciplinary Approach.

Physico-chemical analysis methods are closely connected with biotechnology, pharmaceutical chemistry, and digital data processing. However, traditional teaching systems provide minimal interaction between these disciplines.

- Difficulties in Learning Big Data Processing

Modern pharmaceutical analytics increasingly uses big data processing and predictive algorithms, which are not always incorporated into curricula. As a result, graduates may not be fully prepared to work with digital tools.

These limitations highlight the need for modernization in education. This is where artificial intelligence and new technologies can play a key role, but it requires rethinking teaching approaches.

Teaching Physico-Chemical Methods through CBE

Physico-chemical methods of analysis, including spectroscopy, chromatography, and electrochemical techniques, require a deep understanding of theory and proficiency in laboratory skills. CBE enables educators to design modules that focus on mastering each of these competencies through iterative practice and assessment. According to the ACS Guidelines¹¹, effective teaching in chemistry must be competency-focused, highlighting laboratory proficiency, data interpretation, and ethical standards.

11 American Chemical Society. (2015). ACS Guidelines and Evaluation Procedures for Bachelor's Degree Programs.

Innovative strategies such as problem-based learning (PBL), flipped classrooms, and digital simulation platforms enhance students' engagement and mastery of complex analytical techniques. A study by PUC-Rio Academic Innovation Office¹² reports successful implementation of such models in chemistry and chemical engineering education.

One example of integrating CBE into the teaching of physico-chemical methods is the use of capstone projects that simulate real pharmaceutical industry challenges. These projects help students link their academic learning with future workplace demands. Collaborative assignments that mimic laboratory teamwork further enhance soft skills such as communication, leadership, and time management, all of which are essential competencies in the pharmaceutical field.

Digital Transformation

Digital transformation is revolutionizing the teaching of instrumental analysis in pharmaceutical education, making it more interactive and fostering a deeper understanding of complex concepts through modern digital tools. Commonly the following aspects in which artificial intelligence (AI) can lead to significant progress in education is highlighted:

1. **Simplification and Acceleration of Data Processing.** AI can analyze vast amounts of data, identify patterns, and predict outcomes with high accuracy. This enables students to quickly master analytical information processing methods and reduces the time required for laboratory research.
2. **Personalized Learning.** Traditional teaching methods offer a uniform format for all students. AI, however, can adapt educational materials to individual needs, providing more flexible programs based on students' knowledge levels and interests.
3. **Virtual Laboratories and Simulations.** AI-powered interactive virtual laboratories allow students to conduct analyses in a digital environment, simulating real experimental conditions. This expands access to practical learning, especially in situations where physical laboratories are unavailable.
4. **Automation of Routine Processes.** AI can handle standard procedures such as spectral analysis, chromatographic data processing, and result

¹² PUC-Rio Academic Innovation Office. (2020). *Relatório de práticas de ensino por competências nos cursos de química e engenharia química*

interpretation, freeing up time for students and instructors to focus on deeper methodological study.

5. Enhancing Interdisciplinary Learning. AI facilitates closer connections between analytical methods, data processing, bioinformatics, and pharmaceutical engineering, promoting a more comprehensive approach to education.

As noted by Pushkarova et al¹³, integrating ICT into analytical chemistry fosters personalized learning and continuous feedback. Additionally, competency-based models benefit from data-driven learning and digital literacy. Learning management systems (LMS), online quizzes, real-time data analytics, and AI-powered tutoring systems are becoming indispensable tools in this transformation.

Moreover, interdisciplinary integration is critical¹⁴. Competency development in physico-chemical methods often intersects with courses in biology, pharmacology, and data science. Silva and Mortimer¹⁵ advocate for a socio-scientific curriculum, promoting relevance and applicability of chemistry in real-life contexts. This integration equips future pharmacists with comprehensive analytical skills and ethical reasoning. Developing cross-disciplinary modules that include elements of environmental safety, toxicology, and pharmacokinetics enhances both the relevance and depth of physico-chemical analysis education.

Possible challenges and limitations

The introduction of the CBE system in pharmaceutical education requires significant changes and adaptation of curricula, training of teachers in new technologies and addressing ethical issues related to the use of CBE and AI methods. In particular, it is necessary to include courses on the use of AI in pharmaceutical analysis, add modules on data processing, machine learning and digital technologies, and train students

13 Brazil, Ministry of Education. (2018). National Curriculum Guidelines for Higher Education in Chemistry (Diretrizes Curriculares Nacionais).

14 Silva, C. C., & Mortimer, E. F. (2019). Competency-Based Chemistry Education in Brazil: A Case of Socio-Scientific Curriculum Integration. *Science Education International*, 30(4), 259–267; Pushkarova, Y., Chkhalo, O., Reva, T., Zaitseva, G., & Bolotnikova, A. (2021). Using Information Technology in Teaching of the Course “Analytical Chemistry” in Bogomolets National Medical University. *Archives of Pharmacy Practice*, 12(3), 89–93. <https://doi.org/10.51847/dvMCSbO1SE>; Rhoney D.H. et al, (2024). Evaluating the Need for Competency-Based Pharmacy Education (CBPE): The Report of the 2023–2024 Academic Affairs Standing Committee, *American Journal of Pharmaceutical Education*, 88(8), <https://doi.org/10.1016/j.ajpe.2024.100728>.

15 Silva, C. C., & Mortimer, E. F. (2019). Competency-Based Chemistry Education in Brazil: A Case of Socio-Scientific Curriculum Integration. *Science Education International*, 30(4), 259–267.

in the interpretation of automated analytical results. It is necessary to improve the qualifications of teachers in the field of digital technologies, and to develop an interdisciplinary approach that combines pharmaceutical analysis, bioinformatics and programming. The integration of AI into the educational process will allow the use of virtual laboratories and simulations to model experiments. It will be possible to create intelligent assistants and chatbots for consultations on analysis methods. There is an opportunity to personalize the educational process, adapting materials to the student's level of knowledge.

Also promising is the possibility of conducting online experiments and remote workshops, using cloud platforms for joint data analysis and exchange of research results between different groups of students, between universities located in the same and even different countries. These changes will help create a more flexible, technological and future-oriented teaching system. Thus, the competency-based approach will include not only classical knowledge, but also modern digital tools, providing graduates with relevant skills for work in the pharmaceutical industry.

In this regard, special attention should be paid to ethical and organizational aspects, namely: Defining the boundaries of the use of AI in education, issues of trust in automated analysis systems, protecting student data and maintaining academic standards.

Assessment and Evaluation in CBE

One of the hallmarks of CBE is robust assessment. Unlike traditional models that often rely on summative examinations, CBE promotes continuous, formative assessments that provide feedback and guide learning. In the context of physico-chemical methods, assessments might include lab reports, practical demonstrations, peer reviews, and digital portfolios.

Assessment tools should be relevant to the identified competencies and accurately reflect the student's ability to perform specific tasks. To achieve this, it is advisable to use structured rubrics and milestone-based assessments to monitor progress in acquiring competencies. In addition, assessments should include affective and psychomotor domains along with cognitive outcomes.

Another innovative practice includes the use of OSCEs (Objective Structured Clinical Examinations), adapted for laboratory and analytical skills. These

examinations, combined with peer assessment and reflective journals, create a comprehensive picture of a student's competency development. Furthermore, e-portfolios allow students to document their progress and reflect on their learning journey.

Challenges and Future Directions

Despite its advantages, implementing CBE poses several challenges. These include resistance to change among faculty, the need for comprehensive curriculum redesign, and the demand for new assessment tools. Nevertheless, the opportunities far outweigh the barriers. Institutions that adopt CBE can produce graduates who are better prepared for professional roles, thus enhancing their employability and effectiveness in the pharmaceutical sector. Here are some recent examples of the successful use of CBE:

1. Belmont College of Pharmacy & Health Sciences allows the students to use AI to create tutorials and analyze research data and thus created Virtual labs. This helps them develop the skills needed for real-world lab work¹⁶.
2. At the University of Florida College of Pharmacy, CBE applied to provide personalized learning for students. AI was used to tailor curricula to individual student needs, improving learning¹⁶.
3. The International Pharmaceutical Federation (FIP) released a comprehensive report on a Global Digital Health Education Framework, demonstrating global initiatives that integrate digital health into pharmacy education and into the pharmacy workforce and utilized a survey to understand what opportunities already existed¹⁷.
4. International Pharmaceutical Federation has developed guidelines for implementing a competency-based approach in pharmaceutical education, which helps university's structure curricula and assess students' competencies¹⁸.
5. Utrecht University has developed a process for implementing a competency-based approach, which includes defining learning goals, choosing assessment methods and creating a learning environment¹⁹.

16 Prescriptions for Progress: How Pharmacy Education is Using AI (2025) <https://news.ashp.org/News/ashp-news/2025/03/03/prescriptions-for-progress-ai-in-pharmacy-education>

17 <https://www.pharmacytimes.com/view/artificial-intelligence-applications-in-education-and-pharmacy-practice>

18 International Pharmaceutical Federation (FIP). Competency-based education in pharmacy and pharmaceutical sciences, A FIP handbook to support implementation of competency-based education and training, Version 1, The Hague, FIP, 2022 <https://www.fip.org/file/5338>

19 Koster, A., Schalekamp, T., & Meijerman, I. (2017). Implementation of Competency-Based Pharmacy Education (CBPE). *Pharmacy*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/pharmacy5010010>

Conclusion

The competency-based approach is a forward-looking strategy that aligns pharmaceutical education with the needs of a modern, dynamic healthcare environment. By emphasizing demonstrable skills and real-world application, CBE enhances the teaching and learning of physico-chemical methods of analysis. As Ukrainian and international institutions continue to embrace this model, they pave the way for a more responsive, effective, and globally aligned educational system. Emphasizing lifelong learning, interdisciplinary integration, and digital innovation ensures that future pharmacists are well-equipped for the challenges and opportunities of the 21st-century pharmaceutical landscape.

ПУШКАРЬОВА Ярослава Миколаївна,

канд. хім. наук, доцент,
Національний медичний університет
імені О. О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0001-9856-7846

ЗАЙЦЕВА Галина Миколаївна,

канд. хім. наук, доцент,
Національний медичний університет
імені О. О. Богомольця
ORCID ID: 0000-0003-3138-6324
Україна

ХЕМОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ У СУЧАСНІЙ ФАРМАЦІЇ

У фармацевтичній галузі хемометричні методи набувають дедалі більшого значення. Це алгоритми математичної та статистичної обробки даних, що дозволяють обґрунтовано аналізувати значні обсяги експериментальної інформації¹. Їх застосування сприяє оптимізації процесів контролю якості, розробки нових лікарських форм та удосконаленню аналітичних методик². Завдяки здатності виявляти приховані закономірності, будувати прогностичні моделі та зменшувати ви-

1 Холін, Ю. В., Пушкарьова, Я. М., Пантелеймонов, А. В., & Некос, А. Н. (2016). Хемометричні методи в розв'язанні задач якісного хімічного аналізу та класифікації фізико-хімічних даних.

2 Biancolillo, A., & Marini, F. (2018). Chemometric methods for spectroscopy-based pharmaceutical analysis. *Frontiers in chemistry*, 6, 576.

трати часу й ресурсів, хеометричні підходи стали важливою складовою прикладної фармацевтичної практики на всіх етапах життєвого циклу лікарських засобів³.

Хеометричні методи забезпечують точний і об'єктивний аналіз ключових характеристик препаратів, таких як якість, стабільність, біодоступність, безпечність тощо⁴. Вони відкривають нові можливості для встановлення глибших взаємозв'язків між фізико-хімічними властивостями лікарських засобів і їх терапевтичними ефектами⁵.

Успішне впровадження хеометрії у фармацевтичну діяльність стало можливим завдяки розвитку обчислювальних підходів, що дозволяють виявляти структурні закономірності, класифікувати дані, будувати прогностичні моделі та оптимізувати експериментальні процеси⁶. До найбільш поширених хеометричних алгоритмів належать метод головних компонент, PLS-регресія, метод опорних векторів, Random Forest, кластерний аналіз і штучні нейронні мережі.

Метод головних компонент (Principal Component Analysis, PCA)

Метод головних компонент застосовується у фармацевтичних дослідженнях для зменшення розмірності даних без втрати суттєвої інформації. PCA трансформує корельовані змінні у нові некорельовані (головні компоненти), що дозволяє виявити основні фактори варіації у багатовимірних наборах даних⁷.

PCA демонструє високу результативність у контролі якості при класифікації лікарських засобів за спектральними профілями, виявленні фальсифікатів, оцінці стабільності форм тощо. Також він є корисним інструментом для обробки даних УФ-, ІЧ-, ЯМР- та Раман-спектроскопії⁸.

3 El-Gindy, A., & Hadad, G. M. (2012). Chemometrics in pharmaceutical analysis: an introduction, review, and future perspectives. *Journal of AOAC International*, 95(3), 609-623.

4 Singh, I., Juneja, P., Kaur, B., & Kumar, P. (2013). Pharmaceutical applications of chemometric techniques. *International Scholarly Research Notices*, 2013(1), 795178.

5 Pawar, H. A., & Kamat, S. R. (2014). Chemometrics and its application in pharmaceutical field. *J. Phys. Chem. Biophys*, 4(6), 169.

6 Pushkarova, Y., Zaitseva, G., & Kaliuzhenko, A. (2023, September). Classification of Residual Solvents by Risk Assessment Using Chemometric Methods. In *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 562-565). IEEE.

7 Mertler, C. A., Vannatta, R. A., & LaVenja, K. N. (2021). Advanced and multivariate statistical methods: *Practical application and interpretation*. Routledge.

8 Becht, A., Schollmayer, C., Monakhova, Y., & Holzgrabe, U. (2021). Tracing the origin of paracetamol tablets by near-infrared, mid-infrared, and nuclear magnetic resonance spectroscopy using principal component analysis and linear discriminant analysis. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 413, 3107-3118.

PLS-регресія (Partial Least Squares, PLS)

Метод часткових найменших квадратів дозволяє будувати моделі залежності між структурними або спектральними дескрипторами та залежною змінною (наприклад, фармакологічною активністю). PLS ефективно працює зі корельованими, надлишковими або неповними даними⁹. Цей метод активно використовується для побудови QSPR (Quantitative Structure-Property Relationship) та QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship) моделей, що дають змогу прогнозувати властивості нових сполук ще на етапі *in silico* аналізу (водної розчинності¹⁰, біодоступності¹¹ тощо).

PLS також застосовується для валідації біоаналітичних методів, зокрема в хроматографії¹² та спектроскопії¹³, дозволяючи зменшити вплив шуму та покращити точність кількісного визначення активних речовин у біологічних матрицях¹⁴.

Метод опорних векторів (Support Vector Machine, SVM)

Метод опорних векторів є дієвим інструментом для задач класифікації та регресії, особливо в умовах великої розмірності даних. Основна ідея методу полягає в пошуку гіперплощини, яка найкраще розділяє дані на різні класи, максимізуючи відстань між найближчими точками кожного класу (опорними векторами)¹⁵.

SVM застосовується для класифікації препаратів за біофармацевтичними характеристиками (наприклад, відповідно до Biopharmaceutics Classification System¹⁶ або Biopharmaceutical Drug Disposition Clas-

9 Evermann, J., & Rönkkö, M. (2023). Recent developments in PLS. *Communications of the Association for Information Systems*, 52(1), 663-667.

10 Cao, D. S., Xu, Q. S., Liang, Y. Z., Chen, X., & Li, H. D. (2010). Prediction of aqueous solubility of druglike organic compounds using partial least squares, back-propagation network and support vector machine. *Journal of chemometrics*, 24(9), 584-595.

11 Pushkarova, Y., & Tymchenko, I. (2024). Prediction of oral drug bioavailability based on chemical structure. *Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я*, 104.

12 Vetapalem, R., Yejella, R. P., & Atmakuri, L. R. (2020). Development and validation of a stability indicating RP-HPLC method for simultaneous estimation of teneligliptin and metformin. *Turkish journal of pharmaceutical sciences*, 17(2), 141.

13 Allen, G. I., Peterson, C., Vannucci, M., & Maletić-Savatić, M. (2013). Regularized partial least squares with an application to NMR spectroscopy. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 6(4), 302-314.

14 Selinger, K., Fung, E. N., & Bryan, P. (2014). Bioanalytical method validation and bioanalysis in regulated settings. In *Specification of Drug Substances and Products* (pp. 325-363). Elsevier.

15 Pisner, D. A., & Schnyer, D. M. (2020). Support vector machine. In *Machine learning* (pp. 101-121). Academic Press.

16 Wu, Z., Wang, N., Ye, Z., Xu, H., Chan, G., & Ouyang, D. (2024). FormulationBCS: A Machine Learning Platform Based on Diverse Molecular Representations for Biopharmaceutical Classification System (BCS) Class Prediction. *Molecular Pharmaceutics*, 22(1), 330-342.

sification System¹⁷), прогнозування фармакологічної активності¹⁸ та токсичності¹⁹.

Random Forest

Random Forest – це ансамблевий метод машинного навчання, заснований на побудові великої кількості дерев рішень (decision trees). Кожне дерево формує окремий прогноз, а остаточний результат визначається шляхом об'єднання рішень усіх дерев²⁰.

Алгоритм Random Forest широко використовується для створення моделей, що дозволяють передбачати біологічну активність молекул на основі їх структурних характеристик. Завдяки здатності ефективно працювати з великим масивом інформації, метод допомагає виявляти молекули з бажаними фармакологічними властивостями *in silico*²¹.

Один із основних напрямів застосування Random Forest у фармації – це прогнозування токсичності молекул²². На основі структурної інформації про сполуки можна створювати системи для передбачення їх потенційної токсичності, що дозволяє вчасно виявити небажані ефекти ще до початку або на ранніх етапах клінічних випробувань²³.

Крім того, Random Forest є ефективним алгоритмом для аналізу важливості молекулярних дескрипторів. Метод дозволяє визначити, які саме характеристики сполук найбільше впливають на прогнозовану властивість або активність, що має ключове значення для раціонального дизайну нових лікарських засобів²⁴.

Кластерний аналіз (Cluster Analysis)

Кластерний аналіз є важливим методом хемометрії, що дозволяє групувати молекули або зразки на основі подібності їхніх характеристик або властивостей²⁵. Це один із основних підходів до виявлення прихованої

17 Khandelwal, A., Bahadduri, P. M., Chang, C., Polli, J. E., Swaan, P. W., & Ekins, S. (2007). Computational models to assign biopharmaceutics drug disposition classification from molecular structure. *Pharmaceutical research*, 24, 2249–2262.

18 Maltarollo, V. G., Kronenberger, T., Espinoza, G. Z., Oliveira, P. R., & Honorio, K. M. (2019). Advances with support vector machines for novel drug discovery. *Expert opinion on drug discovery*, 14(1), 23–35.

19 Yu, X. (2021). Support vector machine-based model for toxicity of organic compounds against fish. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 123, 104942.

20 Cutler, A., Cutler, D. R., & Stevens, J. R. (2012). Random forests. *Ensemble machine learning: Methods and applications*, 157–175.

21 Afolabi, L. T., Saeed, F., Hashim, H., & Petinrin, O. O. (2018). Ensemble learning method for the prediction of new bioactive molecules. *PloS one*, 13(1), e0189538.

22 Fang, Z., Yu, X., & Zeng, Q. (2022). Random forest algorithm-based accurate prediction of chemical toxicity to *Tetrahymena pyriformis*. *Toxicology*, 480, 153325.

23 Elsayad, A. M., Zeghid, M., Elsayad, K. A., Khan, A. N., Baareh, A. K. M., Sadig, A., ... & Abd El-kader, S. (2025). Machine learning model for random forest acute oral toxicity prediction. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 11(1), 21–38.

24 Cano, G., Garcia-Rodriguez, J., Garcia-Garcia, A., Perez-Sanchez, H., Benediktsson, J. A., Thapa, A., & Barr, A. (2017). Automatic selection of molecular descriptors using random forest: Application to drug discovery. *Expert Systems with Applications*, 72, 151–159.

25 Aggarwal, C. C. (2018). An Introduction to Cluster Analysis. *Data Clustering: Algorithms and Applications*, 1.

структури в даних без попереднього маркування або класифікації об'єктів, що робить його особливо корисним у фармацевтичній науці, де працюють з великими наборами молекул і складною інформацією²⁶.

У фармації цей метод широко застосовується для класифікації молекул за фармакологічними властивостями, такими як здатність до зв'язування з певними рецепторами або їх ефективність у лікуванні конкретних захворювань²⁷. Наприклад, кластеризація дозволяє об'єднувати молекули з подібною біологічною активністю, що, у свою чергу, сприяє прогнозуванню характеристик нових лікарських засобів та оптимізації властивостей уже існуючих сполук²⁸.

При вивченні токсичності цей підхід допомагає виявляти молекули з подібними токсичними ефектами, що дозволяє прогнозувати потенційну небезпеку і знижувати ризики на ранніх етапах розробки ліків²⁹.

Одне з ключових застосувань кластерного аналізу – виявлення спільних структурних патернів серед молекул з подібними властивостями³⁰. Це особливо важливо для оптимізації сполук із бажаними характеристиками, наприклад, високою біодоступністю або низьким рівнем токсичності³¹.

Штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks, ANNs)

Штучні нейронні мережі – це інноваційні технології, натхнені будовою й принципом роботи людського мозку, які дають змогу системам навчатися та з часом удосконалювати свої результати³². Основним елементом нейронної мережі є штучний нейрон – своєрідний «обробник інформації», що отримує вхідні дані, обробляє їх і передає результат наступному шару нейронів. Нейрони об'єднуються в шари, кожен із яких виконує свою специфічну функцію в загальному процесі обробки інформації³³.

26 Leonard, S. T., & Droegge, M. (2008). The uses and benefits of cluster analysis in pharmacy research. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 4(1), 1-11.

27 Hameed, P. N., Verspoor, K., Kusljic, S., & Halgamuge, S. (2018). A two-tiered unsupervised clustering approach for drug repositioning through heterogeneous data integration. *BMC bioinformatics*, 19, 1-18.

28 Martin, Y. C., Kofron, J. L., & Traphagen, L. M. (2002). Do structurally similar molecules have similar biological activity?. *Journal of medicinal chemistry*, 45(19), 4350-4358.

29 Martin, T. M., Harten, P., Venkatapathy, R., Das, S., & Young, D. M. (2008). A hierarchical clustering methodology for the estimation of toxicity. *Toxicology mechanisms and methods*, 18(2-3), 251-266.

30 Hadipour, H., Liu, C., Davis, R., Cardona, S. T., & Hu, P. (2022). Deep clustering of small molecules at large-scale via variational autoencoder embedding and K-means. *BMC bioinformatics*, 23(Suppl 4), 132.

31 Malhat, M. G., Mousa, H. M., & El-Sisi, A. B. (2014, December). Clustering of chemical data sets for drug discovery. In *2014 9th international conference on informatics and systems* (pp. DEKM-11). IEEE.

32 Pushkarova, Y., Panchenko, V., & Kholin, Y. (2021, July). Application an Artificial Neural Network for Prediction of Substances Solubility. In *IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies* (pp. 82-87). IEEE.

33 Pushkarova, Y., Zaitseva, G., & Al Saker, M. (2022, September). Prediction of Toxicity of Phenols Using Artificial Neural Networks. In *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 493-496). IEEE.

Нейронні мережі значно полегшують процес розробки нових лікарських засобів, пропонуючи сучасний підхід до вирішення складних фармацевтичних завдань³⁴. Зокрема, їх застосування на етапі прогнозування біологічної активності сполук допомагає з високою точністю оцінити потенційний терапевтичний ефект молекул ще до проведення лабораторних експериментів³⁵.

Моделювання фармакокінетичних і фармакодинамічних профілів за допомогою ANNs дає змогу передбачити, яким чином лікарський засіб взаємодітиме з організмом, включаючи його абсорбцію, розподіл, метаболізм і виведення. Це сприяє суттєвому скороченню обсягу дороговартісних доклінічних та клінічних досліджень, оскільки ключові властивості препарату можуть бути змодельовані за допомогою комп'ютерного прогнозування³⁶.

Крім того, нейронні мережі ефективно застосовуються для прогнозування молекулярної активності нових сполук і автоматизації скринінгу великих бібліотек хімічних структур. Це оптимізує процес відбору кандидатів на роль лікарських засобів і підвищує загальну ефективність відкриття нових ліків³⁷.

Однією з найважливіших переваг використання ANNs є можливість прогнозування побічних ефектів. Завдяки здатності аналізувати великі обсяги різнорідних даних – від клінічних історій та звітів про побічні реакції до молекулярних характеристик препаратів і генетичної інформації пацієнтів – нейронні мережі можуть виявляти потенційні ризики ще до початку клінічних досліджень³⁸.

У фармацевтичній промисловості нейронні мережі також використовуються для контролю якості та виявлення фальсифікатів, оскільки

34 Kaliuzhenko, A., & Pushkarova, Y. (2023). Application of artificial neural networks for solving pharmaceutical issues. *Grail Sci.* 2023;(24): 766-9.

35 Siramshetty, V. B., Xu, X., & Shah, P. (2023). Artificial Intelligence in ADME Property Prediction. In *Computational Drug Discovery and Design* (pp. 307-327). New York, NY: Springer US.

36 Wieder, O., Kuenemann, M., Wieder, M., Seidel, T., Meyer, C., Bryant, S. D., & Langer, T. (2021). Improved lipophilicity and aqueous solubility prediction with composite graph neural networks. *Molecules*, 26(20), 6185.

37 Tosca, E. M., Bartolucci, R., & Magni, P. (2021). Application of artificial neural networks to predict the intrinsic solubility of drug-like molecules. *Pharmaceutics*, 13(7), 1101.

38 Mohsen, A., Tripathi, L. P., & Mizuguchi, K. (2021). Deep learning prediction of adverse drug reactions in drug discovery using open TG-GATES and FAERS databases. *Frontiers in Drug Discovery*, 1, 768792. Cu, O. K., Srinivasan, S., & Pathak, V. (2024). Effective Side Effect Prediction by Modelling Drug-Drug Interaction using Two Input Graph Neural Networks with Self Supervised Pretraining and Ensemble Methods. *IEEE Access*. Krix, S., DeLong, L. N., Madan, S., Domingo-Fernández, D., Ahmad, A., Gul, S., ... & Fröhlich, H. (2023). MultiGML: Multimodal graph machine learning for prediction of adverse drug events. *Heliyon*, 9(9).

навіть незначні порушення у складі або технології можуть впливати на безпеку пацієнтів³⁹. Зокрема, ANNs ефективні для:

- ідентифікації відхилень від стандартів та підозрілих аномалій у препаратах;
- виявлення дефектів у пакуванні та маркуванні;
- порівняння реальних зразків із базами даних оригінальних лікарських засобів;
- розпізнавання фальшивих сертифікатів та супровідної документації.

Отже, хеометрія відіграє ключову роль у сучасній фармації, надаючи ефективні засоби для аналізу та інтерпретації великих масивів даних. Методи, такі як аналіз головних компонент, PLS-регресія, метод опорних векторів, Random Forest, кластерний аналіз та штучні нейронні мережі, дозволяють не лише оптимізувати розробку нових лікарських засобів, а й забезпечити високоточне передбачення параметрів їх фармакокінетики та токсичності.

Застосування цих алгоритмів у фармацевтичному виробництві допомагає вдосконалити технологічні процеси, підвищити якість продукції та зменшити витрати на розробку й випробування препаратів.

Хеометричні методи активно використовуються для класифікації та оцінки біоактивності молекул, що має вирішальне значення для розвитку персоналізованої медицини та індивідуальних стратегій лікування.

Завдяки хеометрії забезпечуються належний контроль якості, що є основою безпеки та результативності лікарських засобів. Інтеграція хеометричних підходів у практику фармацевтичної науки та промисловості гарантує не лише наукову точність, а й практичну цінність, роблячи процеси розробки й виробництва більш керованими, економічно вигідними та орієнтованими на кінцевий терапевтичний результат.

³⁹ Nagy, B., Galata, D. L., Farkas, A., & Nagy, Z. K. (2022). Application of artificial neural networks in the process analytical technology of pharmaceutical manufacturing – a review. *The AAPS Journal*, 24(4), 74. Saha, G. C., Eni, L. N., Saha, H., Parida, P. K., Rathinavelu, R., Jain, S. K., & Haldar, B. (2023). Artificial Intelligence in Pharmaceutical Manufacturing: Enhancing Quality Control and Decision Making. *Rivista Italiana di Filosofia Analitica Junior*, 14(2), 2023. Islam, M. R., Zamil, M. Z. H., Rayed, M. E., Kabir, M. M., Mridha, M. F., Nishimura, S., & Shin, J. (2024). Deep Learning and Computer Vision Techniques for Enhanced Quality Control in Manufacturing Processes. *IEEE Access*. Zope, K., Singh, K., Nistala, S. H., Basak, A., Rathore, P., & Runkana, V. (2019, September). Anomaly detection and diagnosis in manufacturing systems: A comparative study of statistical, machine learning and deep learning techniques. *In Annu. Conf. PHM Soc* (Vol. 11).

Kateryna SMETANINA,

PhD in Pharmaceutical Sciences, Associate Professor,
Volyn National University named after Lesya Ukrainka
ORCID ID: 0000-0003-0040-2096
Lutsk

GERIATRIC PATIENTS IN FOCUS OF SPECIALIZED PHARMACEUTICAL CARE

It is well known that with age, the main links that determine the pharmacokinetics of drugs change significantly: absorption, distribution, biotransformation, elimination. In this regard, in older people, an inadequate (paradoxical) reaction to the introduction of a particular drug often occurs, due to the perverted action of many drugs, which is the main reason for the refusal of a number of patients from a whole class of drugs. In the process of aging, hypo- and avitaminosis, depletion of the body of essential amino acids, minerals (as a result of weakening of the enzymatic activity of the gastrointestinal tract, their insufficient absorption and assimilation), etc. are observed.

The main aspects of application, dosage, interaction with other drugs, etc., should be comprehensively clarified by the doctor prescribing the drugs. However, due to the presence of compliance violations between the geriatric patient and the doctor, this function often falls on the shoulders of an ordinary pharmacist, who can provide qualified assistance, coordinate his actions with the attending physician, but within the framework of the law. The pharmacist does not have the right to prescribe drugs, so he cannot often help the patient who turned to him for help in choosing and prescribing a drug. That is, a mandatory condition for influencing the quality of prescribed pharmacotherapy, and as a result - improving quality of life indicators, is strict adherence to the norms and rules of pharmaceutical care, ethics and deontology, especially when working with the elderly.

The pharmaceutical feature of geriatric drugs is that they must be a very complex composition, which, at the site of drug absorption, must create optimal conditions for its absorption from dosage forms. To eliminate the irritating effect of some drugs on the mucous membrane, it is recommended to dissolve the tablets, crush them (if there is a notch and there are indications

for such actions), and wash them down with water in quantities of at least 100 ml (2/3 of a glass).

In geriatric practice, important attention is paid to the selection of excipients, which are selected specifically for each drug, taking into account their influence not only on technological properties, but also on absorption processes i.e. for therapeutic effectiveness. This is carried out in order to ensure a gentle effect of drugs on the aging body, to prevent unwanted side reactions. Therefore, the main task of excipients is minimal trauma to the body by the drug.

The pharmaceutical specificity of geriatric drugs is also that the function of the main auxiliary substances in them should largely be performed by essential amino acids, vitamins, microelements, i.e. those compounds that are constantly lacking in the old body. Therefore, in geriatric practice, it is customary to prescribe the so-called, simultaneously with drugs intended to treat the disease. complex geriatric drugs of general action - geroprotectors, reducing the number of side effects and enhancing the specific effect of drugs of various pharmacological groups.

It has now been proven that the optimal activity of a medicinal substance and the degree of manifestation of the therapeutic effect is achieved only by prescribing it in a rational dosage form. For example, long-term use of aspirin in tablet form contributes to the development of gastric ulcers in the elderly. Use in suppositories does not give rise to this disease.

Medicines in geriatric practice are used in a wide variety of dosage forms (oral, rectal, injectable, aerosols, etc.). Of the oral dosage forms, tablets, capsules, dragees, and liquid dosage forms are most commonly used. Geriatric patients, just like children, need gentle treatment methods and therefore injections should be used only in cases where it is impossible to provide assistance in any other way (thrombosis), etc. In geriatric practice, it is also recommended to use medicinal plants in the form of medicinal preparations: laxatives, antispasmodics, diuretics, choleric, sedatives, and appetite enhancers.

It should be noted that prescribing drugs orally in geriatric practice is not always rational due to the fact that absorption processes are often impaired and various adverse reactions occur when ingested. In this regard, one of the rational ways to administer drugs to elderly patients is the rectal method. Rectal drugs are of significant importance in the pharmacotherapy

of geriatric patients. Due to a decrease in the secretory, motor and absorption functions of the gastrointestinal tract, the absorption of a number of drugs taken orally is weakened. Which reduces the amount of the administered drug due to age-related disorders of the capillary and vascular network of the subcutaneous tissue and muscles, the absorption of drugs administered intramuscularly and subcutaneously also changes. In addition, many drugs irritate the mucous membrane (steroid hormones, indomethacin) and cause nausea, vomiting, and ulcers. The use of these medications in suppositories eliminates these phenomena. In addition, absorption processes in the rectum are always intense and are easily correlated with the help of surfactants. At present, the rationality of taking calcium salts, antibiotics, butadion, heparin, insulin in the form of suppositories has been proven.

The administration of medicinal substances in the form of aerosols is widely used in geriatric practice. In particular, in the treatment of acute and especially chronic lung diseases, aerosols of antibiotics and other antibacterial drugs are used, and in the case of heart failure, aerosol preparations of cardiac glucosides are used. Trypsin, chymotrypsin, and glucocorticosteroids are used in the form of aerosols, which makes it possible to reduce the dose of drugs and adverse reactions.

Both aerosol and rectal methods of administration are not without drawbacks: freons, their influence, loss of a significant part of the drugs, etc., therefore, in geriatric practice, the sublingual and transdermal method of administering drugs is especially valued. The administration of medications bypassing the gastrointestinal tract, ensuring prolongation and safety, is optimal in geriatric practice. These requirements are best met by modern dosage forms based on the percutaneous method of administering drugs (i.e. through the skin or mucous membrane).

It has been established that drops for external use (for example, eye drops) have a significant share in the formulation for people over 60 years of age. Currently, gentle ophthalmic drugs are increasingly used forms: ointments, long-acting eye drops, eye films. The latter option achieves a reduction in dosage and adverse reactions compared to eye drops

Thus, we have presented a review of the main griatric dosage forms, focusing on the conditions of administration, dosage, indications and limitations of use in the elderly of the older age category. Proves the need to follow the standards

of pharmaceutical care for a geriatric patient, especially when he urgently turns to a pharmacist for help.

What you need to remember: a pharmacist, due to his professional competence, can only give advice and provide the necessary information about the drug. Only a doctor prescribes medications, conducts therapy, and prevents treatment. But both the pharmacist and the doctor are jointly responsible for the health and life of the patient, especially at the age of 60 or more.

ТРОЦЕНКО Єлизавета Павлівна,
магістр фармації,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця
м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СУБСТАНЦІЙ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ФАРМАКОПЕЙНИМИ МЕТОДАМИ

Контроль якості лікарських засобів є одним із ключових складових фармацевтичної діяльності, що спрямована на забезпечення ефективності, безпеки та стабільності лікарських засобів. Особливу роль у цьому процесі відіграє дослідження фізико-хімічних параметрів субстанцій, які є активними фармацевтичними інгредієнтами (АФІ) або допоміжними речовинами.

Фізико-хімічні властивості лікарських речовин безпосередньо впливають на такі критично важливі характеристики, як біодоступність, фармакодинаміку, фармакокінетику, швидкість всмоктування, розподіл у тканинах організму, стабільність при зберіганні, а також сумісність з іншими компонентами¹.

У сучасних практиках аналізу якості лікарських засобів застосовується цілий спектр методів визначення фізико-хімічних параметрів: від прос-

¹ 1Ahmad, I., Ahmad Khan, M. S., & Cameotra, S. S. (2014). Quality assessment of herbal drugs and medicinal plant products. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 46, C. 1-17.

тих – таких, як вимірювання температури плавлення чи рН – до складних аналітичних методів із застосуванням спектрофотометрії, хроматографії².

Визначення цих показників є не лише частиною реєстраційного досьє лікарського засобу, але й обов'язковою умовою його серійного випуску та подальшого контролю у виробництві³.

Основними джерелами методичних підходів до такого аналізу є Фармакопеї – офіційні збірники стандартів, що регламентують якісні та кількісні методи контролю. Найбільш вагомими серед них є Державна Фармакопея України (ДФУ), Європейська фармакопея (Eur.Ph.), які постійно оновлюються відповідно до нових наукових даних та технологічного процесу. Застосування методів, наведених у Фармакопеях, є обов'язковим для фармацевтичних підприємств, аналітичних лабораторій та регуляторних органів.

Фармакопеї як нормативна база

ДФУ є обов'язковим нормативно-правовим документом, який регулює якість лікарських засобів в Україні. У ДФУ чітко прописані методи визначення фізико-хімічних властивостей, а також допустимі межі показників. Багато методів аналізу подані у ДФУ є адаптованими із Європейської Фармакопеї. Це забезпечує уніфікованість аналітичних процедур та дозволяє порівнювати якість продукції на міжнародному рівні⁴.

Для практичного застосування фармакопейних методик важливо бачити, як саме ці параметри визначаються на прикладі реальних субстанцій. У кожній Фармакопеї описано конкретну методику визначення для кожної речовини: з використанням аналітичного обладнання, розчинників, умов проведення та допустимих інтервалів⁵.

Для практичної демонстрації застосування фармакопейних методів розглянемо найпоширеніші фізико-хімічні параметри, які контролюються при стандартизації лікарських речовин. Далі представлені основні параметри, методики їх визначення, і наведені приклади конкретних

2 Hansen, S., Hansen, S. H., Pedersen-Bjergaard, S., & Rasmussen, K. (2011). *Introduction to pharmaceutical chemical analysis*. John Wiley & Sons.

3 ЗЗакон України «Про лікарські засоби»: Закон України від 04.04.1996 р. № 123/96-ВР // Відомості Верховної Ради України. 1996. № 22. С. 86. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/123/96-вр>

4 Державна Фармакопея України: у 3 т. / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. Харків : ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.

5 Determination of Boiling Point // College of Pharmacy, University of Anbar. 2023. P.14

субстанцій лікарських засобів, для яких вони є обов'язковими. Допустимі інтервали значень вказані відповідно до офіційних монографій.

Температура кипіння (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С. 61) – це температура, при якій тиск парів рідини дорівнює атмосферному тиску (101.3 кПа)⁶. Він використовується для ідентифікації та оцінки чистоти хімічних речовин. Кожна субстанція має характерну температуру кипіння, яка може змінюватись при наявності домішок⁷. Для визначення використовують термометр, шляхом нагрівання 20 мл досліджуваної рідини у колбі з кількома шматочками пористого матеріалу. Значення температури фіксується, коли пара рідини починає надходити в холодильник. Для приведення результатів до нормального атмосферного тиску застосовують формулу коригування, яка включає поправку на температуру з урахуванням тиску⁸.

Потенціометричне визначення рН (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С. 51): показник рН характеризує концентрацію іонів водню у водних середовищах⁹. Від цього залежить ступінь іонізації молекул, розчинність, стабільність речовин¹⁰. Методика базується на вимірюванні різниці потенціалів між скляним індикаторним електродом і електродом порівняння у випробуваному розчині з використанням вольтметру.

Температура плавлення (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С.62-63) – це температура, при якій тверда речовина переходить у рідкий стан.

Згідно ДФУ температуру плавлення визначають трьома методами:

1. *Капілярний метод*. Передбачає заповнення капілярної трубки зразком речовини, яка потім поміщається в спеціальний прилад для нагрівання. Результат записується, коли остання тверда частинка речовини переходить у рідку фазу. Цей метод використовується для твердих речовин, які легко перетворюються на порошок. Він є стандартним і широко використовується для ідентифікації речовини і контролю їх чистоти, оскільки наявність домішок призводить до змін температури плавлення.

6 Державна Фармакопея України: у 3 т. / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. Харків : ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.

7 Determination of Boiling Point // College of Pharmacy, University of Anbar. 2023. P.14

8 Державна Фармакопея України: у 3 т. / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. Харків : ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.

9 Там само.

10 Szabová, P., Varjúová, D., Kováčová, M., Prousek, J., & Bodík, I. (2022). What is the effect of changing pH on pharmaceuticals' sorption?. Polish Journal of Environmental Studies, 31(2). DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/142580>.

2. *Відкритий капілярний метод.* Він аналогічний до капілярного але передбачає використання відкритої трубки, що дозволяє речовині контактувати з повітрям. Нагрівання здійснюється у масляній бані або спеціальному приладі з точним контролем температури. Застосовують для речовин із аморфною структурою, які не подрібнюються в порошок і плавляться при температурі нижче точки кипіння води, наприклад, жири, віск, парафін, вазелін.
3. *Метод миттєвого плавлення.* Він аналогічний до капілярного але передбачає використання відкритої трубки, що дозволяє речовині контактувати з повітрям. Нагрівання здійснюється у масляній бані або спеціальному приладі з точним контролем температури. Застосовують для речовин із аморфною структурою, які не подрібнюються в порошок і плавляться при температурі нижче точки кипіння води, наприклад, жири, віск, парафін, вазелін.

Абсорбційна спектрофотометрія в інфрачервоній області (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С.73) – це метод, який базується на здатності молекул поглинати інфрачервоне (ІЧ) випромінювання на характерних довжинах хвиль. Використовують для якісного та кількісного аналізу різноманітних речовин шляхом вимірювання їх спектрів поглинання з використанням стандартних зразків.

Абсорбційна спектрофотометрія в ультрафіолетовій та видимій областях (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С.76). В основі лежить вимірювання спектрів поглинання речовин у діапазоні ультрафіолетового та видимого випромінювання. Характерні положення та інтенсивності смуг поглинання є унікальними для певних сполук. Положення максимумів поглинання (довжини хвиль) є важливим для якісної ідентифікації. Порівнюють зразок випробуваного розчину з розчином порівняння.

Рідинна хроматографія (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С. 86). Це високоточний метод аналітичного розділення компонентів суміші з використанням рідкого рухомого і твердого стаціонарного фаз. Зазвичай цей метод використовується для виявлення домішок в лікарських субстанціях.

Втрата в масі при висушуванні (ДФУ, Друге видання, Т. 1, С. 96). Цей параметр визначає кількість летких речовин, головним чином води. Що видаляється із субстанції при висушуванні в контрольованих умовах. Втрату маси розраховують як різницю між початковою масою зразка та

масою після висушування. Вміст летких речовин (втрата в масі) виражається у відсотках (%) від початкової маси зразка. Метод використовується для оцінки стабільності речовини та її придатності до тривалого зберігання.

Приклади лікарських субстанцій, для яких відповідні фізико-хімічні параметри є обов'язковими до визначення згідно з вимогами Фармакопеї, наведені в таблиці 1. Ці параметри мають ключове значення для підтвердження тотожності речовини, встановлення її чистоти, а також кількісного вмісту діючої речовини. У представлений таблиці мною узагальнено взаємозв'язок між методом аналізу, його призначенням і конкретними прикладами лікарських субстанцій, до яких ці методи застосовуються на практиці згідно з офіційними монографіями

Таблиця 1

Приклади лікарських субстанцій, для яких визначають фізико-хімічні параметри відповідно до методик ДФУ

Джерело: Державна Фармакопея України: у 3 т. (1-е вид.). Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». Харків: Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів, 2008. доп. 2. 617 с.

№	Фізико-хімічний параметр	Лікарська субстанція	Інтервал значень
1	Температура кипіння	Арахісова олія гідрогенізована	Від 65°C до 70°C
2	Потенціометричне визначення рН	Азитроміцин	Від 9.0 до 11.0
3	Температура плавлення. Капілярний метод	Бензил безоат	Від 121°C до 124°C
4	Абсорбційна спектрофотометрія в інфрачервоній області	Етилморфіну гідрохлорид	Повинен відповідати еталонному спектру ДФУ етилморфіну гідрохлорид
5	Абсорбційна спектрофотометрія в ультрафіолетовій та видимій областях	Глоду плоди	Довжина хвилі 545 нм
6	Рідинна хроматографія	Ампіцилін тригідрат	98,5-101,0 % (У перерахунку на суху речовину; детектування при 254 нм
7	Втрата в масі при висушуванні	Сульфаніламід	Не більше 0,5 %. 1,000 г субстанції сушать при температурі 105°C

ХАРЛАМПОВИЧ Софія Андріївна,
магістр фармації,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця, м. Київ

ВЕЛЬЧИНСЬКА Олена Василівна,
д-р фарм. наук, професор,
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця, м. Київ
ORCID ID: 0000-0001-7023-8493
Україна

КОМБІНАЦІЯ МЕТОДІВ ГАЗОВОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ– МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ПЕСТИЦИДІВ У ЛІКАРСЬКІЙ РОСЛИННІЙ СИРОВИНІ

Через зростаючий вплив людської діяльності, воєнні дії та техногенні катастрофи довкілля стає все більш забрудненим. Ґрунт, вода, повітря та рослини дедалі частіше піддаються впливу шкідливих речовин, зокрема залишків пестицидів. Отрутохімікати можуть накопичуватися в лікарських рослинах. Актуальним залишається контроль ступеню чистоти рослинної сировини, що використовується у фармації, медицині та нетрадиційній народній медицині, зосереджуючись на наявності ксенобіотиків. Новизна дослідження – це оцінка чистоти рослинної сировини в результаті впливу токсичних речовин. Результати дослідження відображають реальні екологічні умови та підвищують значущість отриманих результатів для захисту громадського здоров'я.

Чебрець повзучий (*Thymus serpyllum*) — це лікарська рослина, яка часто використовується у фармацевтичній практиці завдяки широкому спектру фармакологічних властивостей. Препарати на основі *Thymus serpyllum* використовуються як антисептичний, антигельмінтний, діуретичний, тонізуючий, вітрогінний, спазмолітичний, відхаркувальний, седативний, гіпохолестеринемічний, імуномодуючий та знеболювальний засіб. Надзвичайно важливо досліджувати чистоту сировини цієї рослини на наявність пестицидів (отрутохімікатів), які можуть у ній

накопичуватися¹. ДФУ (Державна Фармакопея України) та Європейська Фармакопея регламентують аналіз сировини цієї рослини, але не регламентують аналіз вмісту пестицидів у її складі. Оскільки токсичність пестицидів може мати прямий вплив на здоров'я людини, необхідно використовувати високоточні методи дослідження, щоб мати можливість контролювати якість і оцінювати безпеку лікарської рослинної сировини *Thymus serpyllum*.

Метою виконаного нами дослідження є імплементація високочутливих інструментальних методів для визначення присутності та вмісту ксенобіотиків (пестицидів) у рослинній сировині *Thymus serpyllum* за допомогою комбінації інструментальних методів — газова хроматографія-мас-спектрометрія (GC-MS). Об'єкти дослідження: зразки рослинної сировини *Thymus serpyllum* (Волинське Полісся), висушені на повітрі, подрібнені механічним методом. Матеріали і методи: метод пробопідготовки – QuEChERS; газова хроматографія-мас-спектрометрія (GC-MS), хроматограф Thermo Fisher Scientific Trace 1610 з хроматографічною колонкою TG-624MS; реактиви: етилацетату (чистоти для хроматографії), хлороформ (чистоти для хроматографії); ДСЗУ (державні стандартні зразки пестицидів України).

Раніше нами виконувалися дослідження з використанням сучасних інструментальних методів, які можна розглядати більш високочутливими і селективними порівняно із фармакопейними методами². Так, метод рідинної хроматографії успішно було замінено на метод вискоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ), що дозволило провести ретельний аналіз складу субстанцій лікарських речовин.

- 1 Vezza, T., Ruiz-Malagón, A. J., Rodríguez-Sojo, M. J., Rodríguez-Cabezas, M. E., Gálvez, J., & Rodríguez-Nogales, A. (2023). Medicinal herbs and teas. In *Natural plant products in inflammatory bowel diseases: Preventive and therapeutic potential* (Chap. 10). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99111-7.00001-5>; Kulbat-Warycha, K., Nawrocka, J., Kozłowska, L., & Żyżelewicz, D. (2024). Effect of light conditions, Trichoderma fungi and food polymers on growth and profile of biologically active compounds in Thymus vulgaris and Thymus serpyllum. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), p.4846. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25094846>; Baj, T., Biernasiuk, A., Wróbel, R., & Malm, A. (2020). Chemical composition and in vitro activity of Origanum vulgare L., Satureja hortensis L., Thymus serpyllum L. and Thymus vulgaris L. essential oils towards oral isolates of Candida albicans and Candida glabrata. *Open Chemistry*, 18(1), pp. 108–118. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0011>
- 2 Welchinska O., Nizhenkovska I., Meleshko R. (2024). Suchasni pidkhody do farmatsevtichnoho analizu metodom VERKH alkaloyidu paklitakselu [Modern approaches to the pharmaceutical analysis by HPLC of paclitaxel alkaloid]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 3, 168–174, DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-3-168>; Вельчинська О., Мелешко Р., Ніженковська І., Горай Т. Використання методу ВЕРХ для дослідження суміші субстанцій із вмістом ацикловіру та гідрокортизону. Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я. – Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. – Випуск 3 (17). – стор. 51-59. DOI: <http://ir.library.nmu.com/handle/123456789/13827>; Вельчинська О.В., Залевська О.Б. Дослідження неприпустимих домішок у фармацевтичних композиціях метамізолу натрію методом ВЕРХ. *Health & Education*. 2023. № 4. с.102-107. DOI: <https://doi.org/10.32782/health-2023.4>

Методика підготовки сировини: для хроматографічного аналізу 10 г зразка обробляли приблизно 90 мл суміші хлороформу та етилацетату (1:3) марки «ч.д.а.». Суміш фільтрували і концентрували до об'єму 10 мл. Потім відбирали частину концентрату і розбавляли хлороформом у співвідношенні 1:1. Протокол аналізу Кожен зразок аналізували за допомогою 5 повторних ін'єкцій, при цьому для кількісного визначення відбирали найбільш репрезентативні хроматограми (з плоскими базовими лініями та чіткими піками). Висоту піку використовували як критичний параметр для кількісного аналізу. Час утримання використовувався для ідентифікації конкретних пестицидів на основі стандартних.

Принципи хроматографічного розділення.

Механізм розділення базується на диференціальних процесах сорбції/десорбції:

- Газ-носіє гелій протікає через колонку, штовхаючи вперед молекули аналіту.
- Молекули з сильнішою взаємодією з нерухомою фазою (вища сорбція) залишаються в колонці довше.
- Молекули з слабшою взаємодією (нижчою сорбцією) рухаються через колонку швидше.
- Цей диференціальний рух створює розділення сполук на основі їхніх хімічних властивостей.
- Кожна сполука елюється в характерний час, створюючи унікальний хроматографічний відбиток.

За допомогою комбінації високочутливих сучасних методів газової хроматографії-мас-спектрометрії (GC-MS) нами проведено дослідження складу сировини лікарської рослини *Thymus serpyllum* (зразок).

Нами виявлено присутність трьох пестицидів. Отримані результати порівнювали з даними Європейської Фармакопеї (2.8.13) щодо вмісту пестицидів у фітопрепаратах та стандартними зразками пестицидів (табл. 1), (рис. 1).

На рисунку 1 представлено хроматограму випробовуваного зразку.

В результаті проведених досліджень виявлено концентрації (мг/кг) ДДТ – 0,04; Хлордану – 0,02; Малатіону – 0,01. Всі виявлені пестициди, включаючи хлордан, не перевищують нормативні пороги. Нами запропонована та апробована комбінація методів GC-MS як альтернативний для фармакопейного методу тонкошарової хроматографії (ТШХ).

Таблиця 1

**Результати дослідження вмісту пестицидів
у сировині *Thymus serpyllum***

№ з/п	Пестициди	Концентрація (мг/кг)
1	DDT	0.04
2	Hexachlorcyclohexane	---
3	Lindan	---
4	Diazinone	---
5	Malathione	0.01
6	Chlordane	0.02
7	Primiphos methyl	---

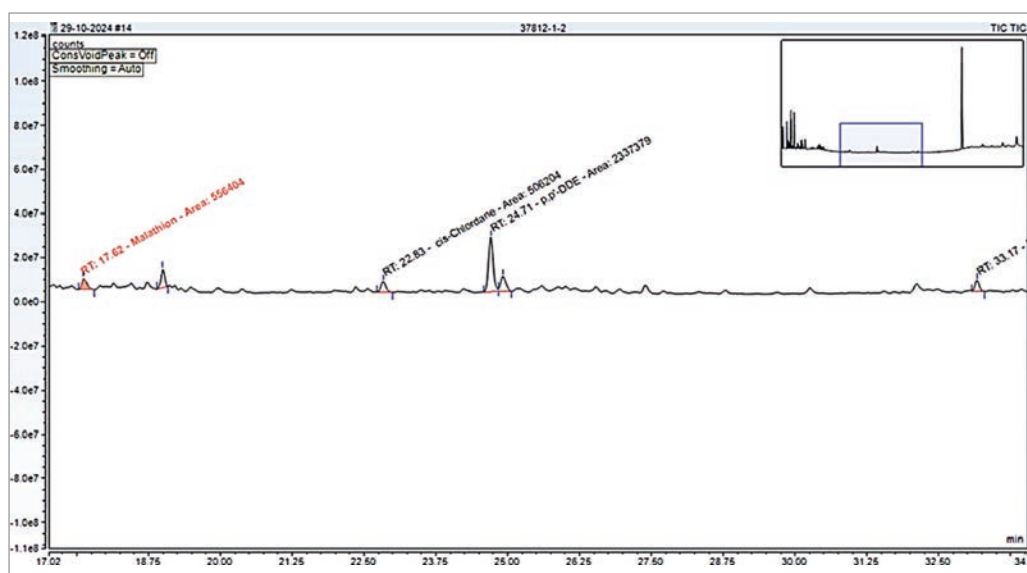


Рис. 1. Хроматограма екстракту досліджуваного зразку
сировини *Thymus serpyllum*: Малатион (Rt 17.62 хв),
Хлордан (Rt 22.83 хв), ДДТ (Rt 24.71 хв).

Мультимодальний підхід забезпечує вищу чутливість, вибірковість і детальну структурну інформацію порівняно з використанням кожного методу окремо для дослідження чистоти лікарської рослинної сирови-

ни на залишки пестицидів. Розроблено методики пробопідготовки та аналізу з використанням хлороформу, етилацетату порівняно із ДСЗУ пестицидів, які не описано в ДФУ та Євр. Фарм. В результаті аналізу виявлено три пестициди фосфорорганічної та хлорорганічної структури (малатіон, хлордан і ДДТ) в межах допустимих норм, встановлених Євр. Фарм. Однак, хлордан виявлено у концентрації 40 % від гранично допустимої норми, що є досить високим вмістом. Спостерігається потенційна тенденція до накопичення ксенобіотиків в навколишньому середовищі, в тому числі, й у складі рослинної лікарської сировини для виготовлення лікарських засобів, що вимагає подальшого моніторингу з огляду на стійку та біоаккумулятивну природу хлорорганічних і фосфорорганічних сполук.

ЧУБЕНКО Олександр Владкович,

канд. фарм. наук, доцент,

Харківський національний медичний університет

ORCID ID: 0000-0002-8465-6407

ГУЗЕНКО Наталя Валеріївна,

канд. фарм. наук, доцент,

Харківський національний медичний університет

ORCID ID: 0000-0002-4524-1225

ЧОРНА Ольга Володимирівна,

канд. фарм. наук, доцент,

Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»

ORCID ID: 0000-0003-1577-7747

Україна

АНАЛІТИЧНА ДІАГНОСТИКА НОВИХ ПСИХОТРОПНИХ РЕЧОВИН В БІОЛОГІЧНОМУ МАТЕРІАЛІ ЛЮДИНИ – СУЧАСНІ ВИКЛИКИ

Проблема наркоманії в Україні робить актуальним проведення токсикологічного аналізу на присутність контрольованих речовин у біологічному матеріалі як живих осіб, так і померлих. Воєнний стан в

країні додав збільшення навантаження на токсикологічні лабораторії згідно Постанови¹.

Складність проведення цього аналізу пов'язана з одного боку зі застарілою інструментальною та недостатньою матеріальною базою (відсутність стандартів наркотиків) в токсикологічних відділеннях судово медичної експертизи, клініко-діагностичних лабораторій наркотологічних, психоневрологічних та токсикологічних відділеннях лікарень, а з іншого, з великою кількістю сполук, які підлягають контролю з боку держави, до яких відносять велику групу речовин які мають умовну назву нові психоактивні речовини (НПР)². Речовини які входять до складу цієї групи можна поділити на декілька частин: перша – це лікарські засоби які вживають з немедичною метою, до другої – це речовини які підлягають міжнародному та національному контролю та занесені в відповідний Перелік³ та речовини статус яких поки не визначено і не внесено до Переліку.

Відповідно до першої групи входять синтетичні опіоїди – фентаніли⁴, бензодіазепіни, як лікарські засоби, так і речовини які не є ліками: флуклотізолам, алпразолам, флубромазолам, феназепам, ніфоксилам, діклазепамфлуктизолам, флуалпрозолам⁵. До другої, речовини синтетичного походження, які розробляються і впроваджуються в незаконний обіг як альтернатива контрольованих на міжнародному рівні речовин та відомі як «дизайнерські наркотики», які заборонені або ще не заборонені законодавством, чи абсолютно нові, яких немає у списку заборонених. До таких відносять речовини які можуть бути аналогами по будові або по дії на організм людини. Це: агоністи канабіноїдних рецепторів⁶, похідні пі-

1 Про затвердження Порядку направлення військовозобов'язаних та резервістів під час проходження зборів, а також військовослужбовців Збройних Сил для огляду на стан алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або щодо перебування під впливом лікарських препаратів, що знижують їх увагу та швидкість реакції, та проведення такого огляду : Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2024 р. № 32.

2 Чубенко О.В., Грень Л.М., Чорна О.В.. Нові психоактивні речовини – соціальні та медичні загрози для держави, пов'язані з ними / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Актуальні проблеми розвитку українського суспільства. 2024. № 1. С. 72-77.

3 Петюнін Г. П., Полях А. М., Шепітько В. Ю. Наркотичні засоби, психотропні речовини та прекурсори: Словник довідник для працівників правоохоронних органів // Г.П. Петюнін, А.М. Полях, В.Ю. Шепітько. Х. : Право, 2016. 96 с.

4 Fentanyl and its analogues – 50 years on. UNODC, Global SMART Update. 2017. Vol. 17. Vienna. 12 p.

5 List of narcotic drugs under international control. Yellow List. Annex to Forms A, B and C 62nd edition. INCB, Vienna International Centre, July 2023.

6 Recommended Methods for the Identification and Analysis of Piperazines in Seized Materials : manual for use by national drug analysis laboratories. New York : UNODC, 2013. 56 p. Recommended Methods for the Identification and Analysis of Synthetic Cannabinoid Receptor Agonists in Seized Materials : manual for use by national drug analysis laboratories. Revised and updated. Vienna : UNODC, 2020. 110 p.

перазину⁷ серед яких є багато лікарських засобів в тому числі заборонені речовини психостимулюючої дії: 1-бензилпіперазін (БЗП), 1-(3-трифторметилфеніл)-піперазін (ТФМФП), 1-(3-хлорфеніл)-піперазін (mХФП); похідні катінону⁸ (β -кетоамфетаміну, β -кето- α -метил-фенілалкіламіну), підклас амфетамінів та фенілетиламінів, речовини психостимулюючої дії: бензедрон, (4-МВС), бупроприон, бутилон, еутилон, флефедрон, МДПВ, мефедрон, меткатион, метедрон, метилон, N-метилмефедрон, 4-МЕС, 2-ММС, 3-ММС, нафIRON, 4-TFMMC.

Всі перелічені групи НІР в разі їх виявлення та ідентифікації в біологічному матеріалі людини, в залежності від підпорядкування токсикологічної лабораторії, мають різні можливості для їх досліджень. Так в токсикологічних відділеннях бюро судово-медичної експертизи є мінімальна методична база для виконання таких досліджень в вигляді Настанови⁹, окрім цього в деяких Бюро є відповідне обладнання: газо-рідинні та вискоефективні хроматографи з мас-спектрометричними детекторами, можливості яких поєднують в собі високу чутливість в поєднанні з селективністю проведення досліджень. Токсикологічні дослідження які проводять в клініко діагностичних лабораторіях спеціалізованих закладах охорони здоров'я не мають централізованого методичного забезпечення, тому нормативні джерела це Інструкція¹⁰ та Постанова¹¹, які унормовують організацію проведення встановлення алкогольного та наркотичного сп'яніння у пацієнтів, а також дві методичні вказівки¹².

7 Recommended Methods for the Identification and Analysis of Piperazines in Seized Materials : manual for use by national drug analysis laboratories. New York : UNODC, 2013. 56 p.

8 Чубенко О.В., Чорна О.В., Гузенко Н.В., Слюсар В.В. Синтетичні катіони: структура, токсикодинаміка, токсикокінетика, токсикологічний аналіз // Фармацевтичний часопис. 2023. №2 (66). С. 71-83. ISSN 2312-0967.

9 Савченко М. А., Чубенко О. В. Настанова щодо проведення судово-токсикологічних досліджень. Київ : ДСУ «Головне бюро судово-медичної експертизи МОЗ України», 2024. 56 с.

10 Інструкція про порядок виявлення у водіїв транспортних засобів ознак алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або перебування під впливом лікарських препаратів, що знижують увагу та швидкість реакції : Наказ Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства охорони здоров'я України від 09 листопада 2015 р. № 1452/735. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 11 листопада 2015 р. за № 1413/27858.

11 Про затвердження Порядку направлення військовозобов'язаних та резервістів під час проходження зборів, а також військовослужбовців Збройних Сил для огляду на стан алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або щодо перебування під впливом лікарських препаратів, що знижують їх увагу та швидкість реакції, та проведення такого огляду : Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2024 р. № 32.

12 Петюнін Г.П., Дмитрієвська Ж.В., Чубенко О.В. Порядок відбору від живих осіб зразків біологічного матеріалу, поводження з ними та організація проведення токсикологічних досліджень з метою виявлення стану алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або перебування під впливом лікарських препаратів, що знижують увагу та швидкість реакції : методичні рекомендації. К. : УкрЦНМІ, 2011; Петюнін Г.П., Дмитрієвська Ж.В., Чубенко О.В. Методи виявлення наркотичних засобів та психотропних речовин у біологічних рідинах людини. Методи поперечної експрес-діагностики : методичні рекомендації. К. : УкрЦНМІ, 2006.

Послідовність виконання досліджень, які підтверджують відповідні стани у пацієнта, базуються на стандартних операційних процедурах, які затверджує керівник медичного закладу. Створюють їх лікарі – лаборанти у відповідності до наявних можливостей лабораторії, з використанням міжнародних документів¹³.

Можливості аналізу в токсикологічних лабораторіях НПР виглядають наступним чином: синтетичні опіоїди (фентаніли) не виявляють в біологічному матеріалі людини, оскільки ці речовини приймають і вживають в дуже малій концентрації, яка недоступна для основного методу – хроматографії в тонких шарах сорбенту. Агоністи канабіноїдних рецепторів («спайси») можуть виявлятися тільки попереднім методом – імуноферментним аналізом результати якого мають тільки негативне значення, а підтверджуючий аналіз це ТШХ яка також не може виявити слідові концентрації цих речовин. Піперазини – речовини з психостимулюючою дією, клінічна картина наркотичного сп'яніння співпадає з такою ж як у похідних амфетаміну, а також і хроматографічні характеристики останніх (хроматографічна рухливість, забарвлення з реактивами – візуалізаторами).

Катинони це велика група речовин яка постійно доповнюється новими похідними¹⁴. Зараз в Україні найбільше розповсюдження отримали α – PVP, мефедрон та МДПВ¹⁵. Підтвердженням цього є літературні джерела¹⁶, та проведення імуноферментного аналізу за допомогою комбінованого швидкого тесту на наркотики у сечі №3 (метилендіоксіпіровалерон (MDPV), альфа-піролідинопентіофенон (α -PVP), меткатинон (MCAT) виробник Ешур Еул (Ханджоу) Ко, Лтд. Китай. Проведені дослідження показали задовільну селективність відносно катинонів, а також відсутність хибно позитивних результатів відносно традиційних похідних амфетаміну, перехрестних хибно

13 Recommended Methods for the Detection and Assay of Barbiturates and Benzodiazepines in Biological Specimens Manual for use by national laboratories. New York : UNODC, 1997; Recommended Methods for the Detection and Assay of Heroin, Cannabinoids, Cocain, Amphetamin and Methamphetam in Biological Specimens Manual for use by national laboratories. New York : UNODC, 1995.

14 Kuroпка P., Zawadzki M., Szpot P. A review of synthetic cathinones emerging in recent years (2019–2022) // *Forensic Toxicology*. 2023. Vol. 41. P. 25–46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11419-022-00639-5>.

15 Спіріна І.Д., Феденко Є.С., Шорніков А.В. Проблема «дизайнерських» наркотиків в Україні // *Здоров'я України*. 2018. № 2 (45). С. 48–49.

16 Спіріна І.Д., Феденко Є.С., Шорніков А.В. Проблема «дизайнерських» наркотиків в Україні // *Здоров'я України*. 2018. № 2 (45). С. 48–49; Єрко Д.В. Експертне дослідження α -піролідиновалерофенону (α -PVP) // *Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи. Всеукраїнська наукова конференція* (29 квітня 2020 року). Житомир : Видавець О. О. Євенок, 2020. С. 16.

позитивних результатів до інших фенілалкіламів. Підтверджуючі дослідження проводили методом хроматографії в тонких шарах сорбенту після рідинно-рідинної екстракції з лужного екстракту отриманого із сечі людини. Обмежена кількість характеристичних функціональних груп (третинна, вторинна аміногрупа та метилендіоксі група) не дозволяють використати достатню кількість реактивів – візуалізаторів за виключенням реактиву Драгендорфу за Мун'є, 1 % ацетонового розчину нінгідрину та реактиви Манделіна та Маркі. Вживання означених катинонів часто супроводжується випадками полінаркоманії де компонентами можуть бути кокаїн та метадон, які дають забарвлення з цими реактивами¹⁷. Тому для достовірного виявлення катинонів була запропонована нова система розчинників яка дає не корелюючи параметри хроматографічної рухливості для речовин що досліджують. Окрім цього були розраховані індекси які дають можливість підвищити достовірність виявлення та відділити катинони від наведених наркотиків та інших препаратів – об'єктів немедичного використання (див. схема 1). Для перевірки отриманих результатів використовували референтний підтверджуючий метод дослідження за допомогою хромато-мас-спектрометра Agilent 6850/5973B¹⁸.

Спираючись на викладений матеріал, можемо сказати, що групове виявлення вказаних катинонів можливо здійснити, але треба посилити доказову базу цих досліджень насамперед виявляючи не тільки нативні (не змінені) сполуки речовин які підлягають контролю, але і відповідних метаболітів які утворюються в організмі людини. На заваді цього стоїть відсутність стандартів¹⁹ та недостатня кількість в токсикологічних лабораторіях сучасних приладів які б вивели дослідження цих речовин на новий рівень.

17 Зав'ялов О.С., Зелений П.О. Особливості дослідження 3,4-метилендіоксіпіровалерону та розрізнення можливих його сумішей із метадоном і кокаїном // *Криміналістичний вісник*. 2018. № 2 (30), С. 132–138. DOI: <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2018-30-2-132>.

18 Чубенко О.В., Чорна О.В., Гузенко Н.В. Повідомлення про встановлення дати подачі заявки на винахід (корисну модель). Р.н. заявки U13414/3У/24 Спосіб виявлення деяких наркотичних речовин, які знаходяться в суміші в біологічному матеріалі. 28.10.2024 р.

19 Міжнародний комітет з контролю над наркотиками. Додаткові напрями дій на підтримку здійснення прийнятих МККН у 2007 році Керівних принципів щодо ввезення та вивезення еталонних стандартних зразків наркотиків та прекурсорів для використання національними лабораторіями експертизи наркотиків та національними компетентними органами. Лютий 2012 р.

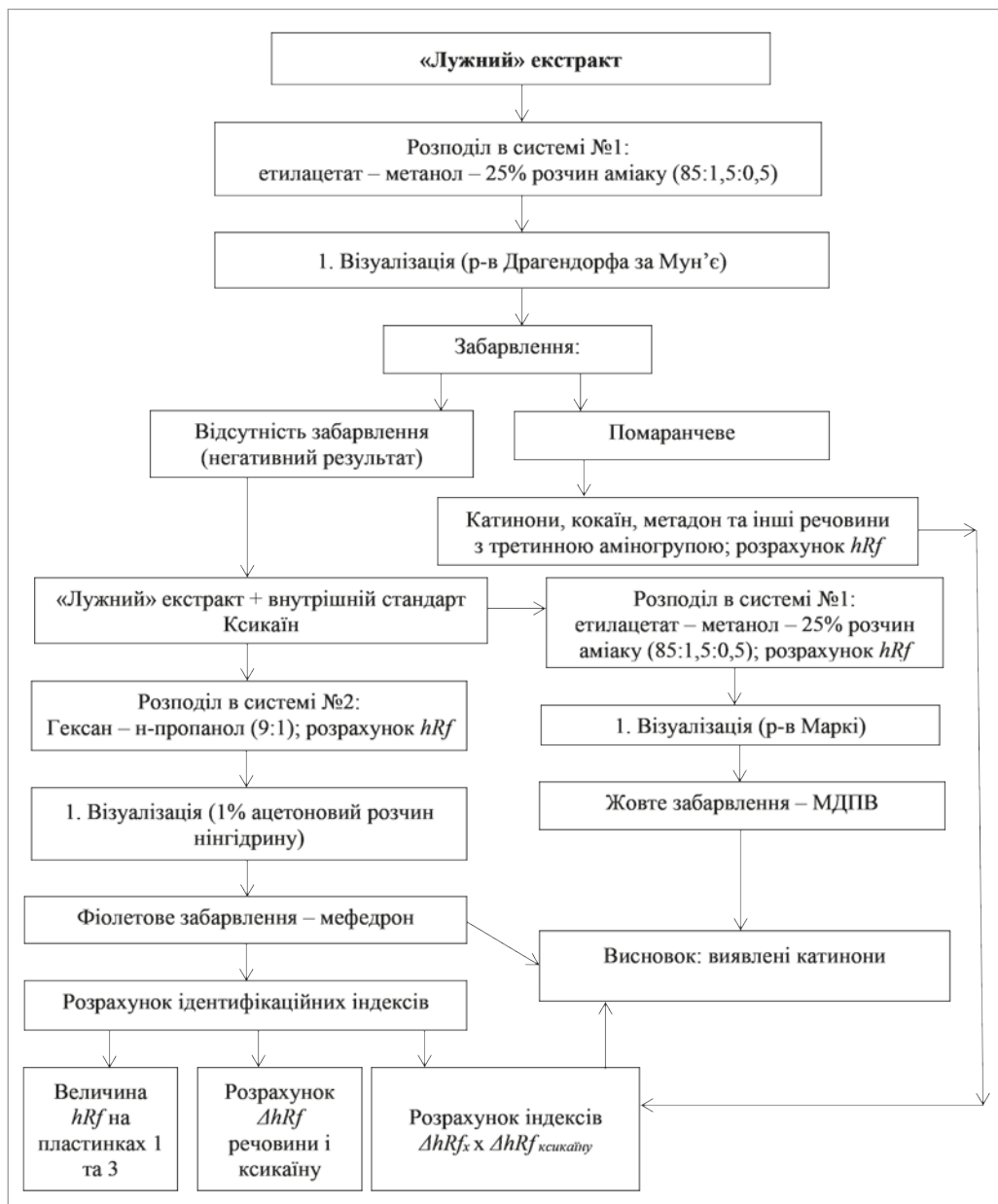


Схема 1.

МАКСИМЕНКО Сергій Дмитрович,
доктор психологічних наук, професор,
директор Інституту психології імені Г. С. Костюка
НАПН України
ORCID ID: 0000-0002-3592-4196

МЕНТАЛЬНЕ ПРОТИСТОЯННЯ ЗАГРОЗАМ: ГЕНЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОДОЛАННЯ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ, ПАНДЕМІЇ COVID-19 ТА ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ ЯК ГЛОБАЛЬНОЇ ЗАГРОЗИ МАЙБУТЬОМУ ЛЮДСТВА І ШЛЯХИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ЧЕРЕЗ ГЕНЕТИКО-КРЕАТИВНУ СТРАТЕГІЮ

Стаття розглядає генетичний підхід до подолання наслідків глобальних загроз, таких як Чорнобильська катастрофа, пандемія COVID-19 та воєнні виклики. Особливу увагу приділено розробці нового методу реабілітації, що отримав назву «генетико-креативний». Описані принципи цього методу, включаючи принцип розвитку, переживання, свободи, взаємодії, невизначеності та терапевтичного ефекту. Метою статті є висвітлення можливостей генетико-креативної стратегії для подолання наслідків глобальних загроз через розвиток креативного потенціалу та психологічної адаптації особистості та суспільства в цілому.

У XXI столітті людство переживає хвилю глобальних потрясінь: техногенні катастрофи, пандемії, війни. Від Чорнобильської трагедії 1986 р. до пандемії COVID-19 та масштабних воєнних конфліктів сучасності – ці виклики не лише випробовують фізичну стійкість людини, а й формують нові моделі ментального спротиву. Стає очевидним, що традиційні підходи до подолання кризи більше не є достатніми. На перший план виходить синергія генетичних досліджень і креативного мислення – **генетико-креативна стратегія**, здатна стати основою нової моделі реабілітації та адаптації.

Метою статті є дослідження можливостей генетико-креативної стратегії для подолання наслідків глобальних загроз, таких як Чорнобильська катастрофа, пандемія COVID-19 та воєнні виклики. Стаття має на меті ви-

світлити ефективність цього нового методу реабілітації, зокрема через розвиток креативного потенціалу, психологічну адаптацію та формування нових механізмів взаємодії в суспільстві, що дозволяють мінімізувати вплив цих катастроф на індивідів і колективи.

Чорнобиль: перша ментально-генетична травма

Катастрофа на ЧАЕС спричинила не лише екологічну та фізіологічну шкоду, а й глибоку психологічну травму, яка вплинула на кілька поколінь. Викид радіації порушив не лише стан навколишнього середовища, але й залишив слід у генетичному матеріалі багатьох людей, які стали жертвами цієї катастрофи. Генетичні мутації, зміни в імунній системі та епігенетичні зрушення стали основою численних досліджень, які показали, що в умовах екстремального стресу організм здатен активізувати механізми адаптації¹. Однак ці зміни не обмежуються тільки однією генерацією. Епігенетичні модифікації можуть передаватися наступним поколінням, що призводить до розвитку у них нових адаптивних властивостей. Так, дослідження потомків постраждалих показують, що, попри тяжкі умови існування, у них спостерігається підвищена резистентність до певних захворювань, таких як рак та серцево-судинні недуги. Ці генетичні зміни свідчать про здатність людського організму не лише до адаптації в короткостроковій перспективі, але й до довгострокових еволюційних перетворень, які можуть бути важливими для виживання та розвитку після таких великих екологічних катастроф.

COVID-19: біоінформаційна криза

Пандемія стала прикладом глобального біоінформаційного удару: дезінформація, страх і соціальна ізоляція стали факторами, які пригнічували ментальну стійкість. Водночас, генетичні дослідження відкрили нові горизонти в розумінні імунної пам'яті, мутацій вірусу та спадкових факторів стійкості до хвороб. У цьому контексті, роль креативного мислення – мистецтва, культури, інновацій – стала інструментом подолання психологічних бар'єрів та переосмислення колективного досвіду².

1 Maksimenko S. D., Serdiuk L. Psychological Potential of personal self-realization. Social Welfare. Interdisciplinary Approach, 6 (1), С. 93-100

2 Maksymenko, O. Lysenko. Modern methods of diagnosing virtual addiction among adolescents: relevance and prospects. Монографія / за ред. Аніти Янковської, Riga, Latvia: IZDEVNICIBA BALTIJA PUBLISHING, 2019. С. 394-410.

Ситуація, що пов'язана із війною та пандемією Covid-19 в Україні продукує реакції та переживання, внаслідок чого деформуються наступні процеси психіки: **критичне мислення, креативність, емоційний інтелект, когнітивна гнучкість, системне мислення**. Як же відбуваються впливи та маніпуляції через кризову ситуацію в Україні через стан війни та ковід? Багато хто переживає це як специфічну форму деформаційної посттравматичного стану на переживання і хвороби особистості.

Для того, щоб сформулювати і сформулювати проблему, яка з'являється, потрібно визначитись з поняттям «постстресового синдрому». Синдром має:

- Свій генезис;
- Свою нейрофізіологічну діагностику;
- Психологічні технології інтервенції.

У цьому моменті, як у краплі роси, висвічуються теоретичні та методологічні парадигми, у яких відзеркалена сутнісна характеристика «постстресового синдрому».

Синдром – це набір якостей і властивостей, недоліків з загальним патогенезом. Це синергетична властивість фізіологічних, інтелектуальних, соціальних переживань при цьому об'єднуючи прояви патології однієї або декількох систем організму людини. Ця властивість складає сутнісну картину того, що ми розуміємо під «постстресовим синдромом». Він імпліцитно тримає в собі ті моменти і речі, які полягають у відсутності чітких орієнтирів та розумінь про походження, травматизацію, одужання та розповсюдження цих тяжких ситуацій, яка полягає в тому, що ми самі як суб'єкти – носії суспільного, що переживали різні стресові ситуації. Сам стрес у період війни насичує і підсилює своїх особистісних носіїв властивістю безвихіддя. Продовження бойових дій, наче, прокляття над людством, людиною, особистістю, що захоплює їх інформаційно-енергетичною синергією не тільки соматику, а й психіку³.

Здійснений нами логіко-психологічний та медико-реабілітаційний аналіз дає можливість говорити про ви členення генетично-вихідної одиниці, яка конститує єдність біологічного й соціального, яка імпліцитно тримається в особистості. Вона охоплює і свій генезис,

3 Maksimenko S. D. Principles of website design for professional psychological diagnosis in different specialties. Information Technologies and Learning Tools / Institute of Information Technologies and Learning Tools of NAES of Ukraine. 2019. Vol. 73, № 5. P. 284-294.

нейрон-фізіологічну складову і технології психологічних інтервенцій. Це унеможлиблює створення трансцендентальності, як галузь даної ситуації.

Створюється ситуація, що не тільки зачіпає біологічне та соціальне. Вона дотикається до духовного, що наче запряжене у цю вуздечку, тримаюче інформаційне поле. Воно невблаганно, неусвідомлено веде особистість, суспільні групи до того, що розмивається культурне ядро нації і розмивається вся палітра внутрішнього світу особистості.

Ми маємо чинити певний супротив. За цими стоять маніпулятивні інформаційно-енергетичні впливи на особистість, які проявляються в тому, що люди потрапляють в ситуацію безвиході. З одного боку це фобія, а з другого – соціальне підкріплення їх хворобливого стану. Створюються біопсихологічний тероризм в масовому розповсюдженні.

Тут утворюється генетично-вихідна одиниця, яка конститує, як біологічне, соціальне, суспільне, духовне і особисте – фізіологічне. Фізіологічне створює підґрунття для психосоматичних розладів. Як наслідок з'являється психологічна детермінанта – **«обсесивно-компульсивний невроз»**. Фобія перемоги упереджує пригнічення свого власного духовного світу перед страхом⁴.

Ми розглядаємо страх як породження станів: тривоги, переживання, негативні стани, модуляції, архітектоніки.

Так, на арені з'являється друга складова, під впливом таких же моментів – **«алогічність мислення»**. Воно полягає в неадекватності оцінки своїх переживань та їх проявів, ставлення до світу, до близьких. За час свого існування таке мислення набуває яскраво виражену негативну конотацію. Навколишній світ перетворюється в мозаїку розрізнених, мало пов'язаних між собою фактів, частин, осколків інформації. Даний вид мислення є катастрофічним, адже суб'єкт отримує інформацію імпульсами, не фокусується на ідеях, а лише на окремих спалахах і образах.

Це те, що дуже насторожує суспільний устрій, захоплює людину «вібраційним полем центрифуги», і в цьому моменті особистість набуває зовсім іншого гатунку. Вона є неспроможна до оцінки, рефлексії складової свого розуму, та сенсу буття. Це призводить до наступного моменту, коли породжується **«роздвоєність особистості»** (множинна особистість). Цей

4 Максименко С. Д., Костюк О. В., Максименко К. С., Немеш О. М., Луньов В. Є. Мультилінгвістичний дискурс невротизації майбутніх лікарів: монографія. Київ : «Видавництво Людмила», 2020. 171 с.

розлад ідентичності тісно пов'язаний з механізмом психогенної амнезії – витіснення негативних переживань та заміщення їх позитивним, або навпаки. Це психологічний захисний механізм, завдяки якому людина отримує можливість витіснити зі свідомості травматичні моменти. Це нагадує ситуацію з «буридановим віслиюком». Ця роздвоєність є фрагментарною, захоплюючи певні ділянки головного мозку. Вихоплює з контексту тезаурисні моменти, які розбалансовують інформаційно-енергетичну систему «Я» особистості.

За цим виступає **черверта складова**, яка демонструє **«емоційне отуплення»** – нечутливість, відстуність емпатії, чутливості, доброзичливості. Ознаки тупості людини в емоційному плані на початковому етапі виявляються в надмірній холодності навіть до близьких. Це відсутність співчуття або співпереживання, радості за успіхи тих, хто причетний до життя людини.

Відсутня критика щодо реальних проблем, перешкод, сприйняття ситуації порушено. Наразі культивуються інші цінності, що проявляються в цинізмі, невідворотності, брехливості, грубість. Ми культивуємо грубе ставлення до власного «Я», як вільного суб'єкта. Один з плодів діяльності – загальнонаціональна апатія, що створює об'єктивні умови для деградації, самознищення народу. У сучасних умовах інформаційного впливу вона особливо небезпечна.

У силу цих психологічних моментів треба вибудувати захисні механізми на рівні: нейродіагностики, соціальної діагностики, психотехнологій, психологічних і технологічних психоінтервенцій, які б дали можливість убезпечити особистість у цьому краховому, зародковому стані⁵. Трансцендувати своє «Я», та подивитися на себе з іншого боку, дисоціюючись від ситуації. Збагнути те, що «Я» маю залишитися сам собою, оскільки кожна людина у цьому суспільстві має убезпечити себе. І ця убезпеченість набагато сильніша ніж страх.

«Постстресовий синдром» також мав би наштовхнути людство на думку, що потрібно змінюватись. Ставати добрішими, мудрішими, неоцінюючими, а навпаки зближувачими один з одним. Не варто забувати й про природу. Оскільки, природа – олюднена. А людина – оприроднена.

5 Максименко С. Д., Костюк О. В., Максименко К. С., Немеш О. М., Луньов В. Є. Мультилінгвістичний дискурс невротизації майбутніх лікарів: монографія. Київ : «Видавництво Людмила», 2020. 171 с.

Прагнення до Творця, до досконалості: «Люби свого ближнього, як самого себе». Любов до ближнього та самого себе повинна сколихнути загальний енергетичний потенціал людства, який був спрямований тільки на удосконалення зв'язку між своїми функціональними станами та функціональними станами природи. Природа є вічною, як вічною є духовність. Духовність вічна, як жива природа. Але людський егоїзм, страждання та запити невгамовні потребнісно-емоційні складові приводять до краху природних ресурсів.

Хотілося б заявити, що це і є основна цінність нашого дослідження, коли ми можемо вибудувати чітку генезу «постстресового синдрому» на рівні нейродіагностики. Оскільки феномен «постстресового синдрому» з'явився завдяки людям, які у поступі високих потреб, самі ж себе знищують.

Особливістю сприйняття особистістю реальності є те, що сприйняття завжди обмежене біологією. Тому людина сприймає світ, себе та інших людей такими, якими зробили її відчуття. Особистісна свідомість довіряє всьому, що отримує через чуттєвий досвід і знає світ лише таким, яким трактує його наш розум з усіма його когнітивними спотвореннями. Тому людина не відчуває реального світу таким, яким він є насправді. Це призводить до того, що у кожній особистості створюється своя унікальна модель світу, яку збагнути дуже складно, а проникнути у духовний світ особистості взагалі неможливо. Проте так можна було висловлюватися кілька десятиліть тому.

Зараз людство стоїть перед революційним гігантським поступом у вивченні особистості за допомогою сучасних нейротехнологій, які власне й дозволяють нам побачити світ очима іншої людини та знати, що відчуває інша людина. Особливо актуальним такі дослідження є у ситуаціях, коли людина потрапляє під дію чинників, що стають причиною різноманітних особистісних змін і навіть деформацій психічних процесів⁶.

Відомо, що психологічні теорії, які спираються на класичну психологію, сповнені сцієнтизмом (методологічною обмеженістю пізнання феномена), універсалізмом (пошуком універсального закону розвитку розладу), індивідуалізмом (інтереси індивіда є пріоритетними над інсти-

6 Максименко С. Д. Психологічні особливості розуміння студентами Інтернет-текстів, Psycholinguistics. 2020. Vol. 28 (1). P. 95-105.

туціональними інтересами), механістичним розумінням казуальності (дуалістичний поділ причин, які зароджуються у внутрішньому світі чи зовнішньому). Варто відзначити, що у цих теоріях зазвичай особистість розглядають «як таку», тобто усереднено, часто без гендерних особливостей, не враховують інстинкти виживання, емоційну, когнітивну сфери, не беруть до уваги нейропсихологічні особливості, зокрема порушення нейропсихологічних факторів. Крім того, на сьогодні відомо, що у кожної людини мозок є неповторним, та іноді відмінність становить у 40 разів за деякими цитоархітектонічними полями між людьми.

Отже, використання нейротехнологій при дослідженні підсвідомих реакцій конкретної особисті у різних, особливо потенціально стресогенних, ситуаціях є безперечно актуальним та має велике практичне значення⁷.

Відомо, що нейроінтерфейси – це пристрої, які належать до технології інтерфейс мозок-комп'ютер (BCI – Brain Computer Interface), крім того, у фаховій літературі цю технологію ще називають як інтерфейс розум-машина (MMI – Mind Machine Interface), прямий нейронний інтерфейс (DNI – Direct Neural Interface) та інтерфейс мозок-машина (BMI – Brain Machine Interface). Ця нейротехнологія спрямована на оцінку когнітивних показників, моніторингу емоцій, розпізнання лицевої експресії, рухів голови, а також управління віртуальними чи фізичними об'єктами завдяки машинному навчанню через завчені ментальні команди.

Поява нейроінтерфейсу ще ніколи не робила настільки простим під'єднання мозку до комп'ютера і відкриває для психологів принципово нові можливості вивчення поведінки людини та дає змогу психологам точно знати, а не припускати як зараз, особливості когнітивно-емоційні показників у досліджуваного.

Загальновідомо, у результатах психодіагностики можна виокремити частину об'єктивну, суб'єктивну та істинну. Це зумовлено специфікою об'єкта пізнання, суб'єкта пізнання та методом пізнання. Сучасні нейробіотехнології дозволяють мінімізувати рівень суб'єктивності, оскільки дозволяють зчитувати (фіксувати) підсвідомі реакції мозку досліджуваного на аудіовізуальні подразники. Найкраще для цього підходить саме

⁷ Maksymenko, S. D. (2021) Genetic principles of creative personality confident as a propulsion of mental development. Ottawa: Accent Graphics Communications and Publishing. Glasgow: Society for the support of publishing initiatives and scientific mobility Limited. 615 p.

нейроінтерфейс – прилад який дозволяє закомунікувати мозок на пряму із комп'ютером.

Як наголошувалося вище, означені технології дають змогу фіксувати підсвідомі реакції людей на різні подразники, у тому числі на аудіо-візуальні, що відкриває широкі можливості для дослідження сприйняття, та відповідно засвоєння, навчального матеріалу на всіх ланках освітнього процесу, зокрема у «Новій українській школі».

Були б також доречними ці нейротехнології у профвідборі на різні посади. Адже зараз оцінюють лише результат тестування, а сам процес здачі екзамену знаходиться поза увагою. Хоча цей момент має бути прискіпливо вивчений, бо тести можна здати думаючи, можна здати навмання, можна завчити, або ж «підглянути». З нашим запровадженням нейротехнології ми зможемо відбір зробити справді об'єктивним бо у кожний момент ми моніторимо як функціонує мозок і чим він у цей момент зайнятий.

Ще один напрямок, який, на наше глибоке переконання, потребує розвитку – це введення інформації у комп'ютер без моторних систем вводу (клавіатура, мишка, джойстик тощо), а завдяки думці. Мозок взаємодіє зі світом виключно через моторику. Мовлення, письмо, танець, жести і т.п. все це реалізується завдяки моториці. Нейротехнології дозволяють нам на пряму закомунікувати мозок з комп'ютером і думкою, тобто ментальними командами управляти або у віртуальному середовищі, або механізмами, наприклад дроном, автомобілем, протезами, штучним тілом тощо. Дякуючи цьому вже фактично створено біологічне безсмертя і є змога продовжити своє буття або у віртуальному світі, або реальному.

Варто також коротко зупинитися на новій перспективній нейротехнології. Як відомо, нейропсихологія під час картографування функцій мозку винятково застосовує методи мікронейрохірургії, такі як подразнення, пригнічення, руйнації та методи нейровізуалізації зокрема ЕЕГ, КТ, МРТ, ПЕТ. Знаючи, що у кожної людини мозок неповторний ми свідомо робимо методологічне обмеження під час вивчення зв'язку структури і функції ЦНС з психічними процесами і поведінкою людини.

Враховуючи вищезазначене, ми глибоко переконані в тому, що сьогодні доцільніше надавати перевагу оптогенетиці, яка застосо-

вує генну інженерію і дає змогу побачити під мікроскопом енграми – мережу нейронів, які причетні до якоїсь «конкретної інформації» чи конкретного навичка. Більше того на сучасному етапі розвитку науки ці нейронні мережі можна побачити під мікроскопом неінвазивно. Суть методу полягає в тому, що завдяки вірусу вбудовується ген флуоресценції до регуляторного гену нейронів, пов'язаних з «конкретною інформацією». Важливим є можливість перевірити, чи справді збудження цього ансамблю клітин призводить до появи «цієї реакції». Для цього завдяки вірусу вбудовується ген фоточутливості водоростей до нейронів, пов'язаних з «конкретною інформацією», і під час освітлення мозку надмірно збуджується винятково лише ця мережа нейронів і з'являється відповідна реакція організму. Оптогенетика дає змогу сказати, які саме конкретно клітини нервової системи причетні до конкретної функції, реакції чи психічного розладу. Це відкриває нову перспективу справді селективного впливу, стимуляції або ж пригнічення на певні клітинні ансамблі завдяки методам оптогенетики, та відкриває реальні перспективи для освоєння цього напрямку в Україні.

Слід зазначити, що на сьогодні, за дуже короткий період часу, ми отримали гігантський масив принципово нових знань про людину та її духовний світ; можна навіть говорити про те, що а існуючі у психології теорії потребують перегляду та проходження тесту на їхню достовірність у світлі нових знань. По суті нейротехнології стали мірилом істинності.

У теоріях неklasичної психології соціальне середовище є не фактором, а джерелом розвитку мозку, що визначає тенденцію не тільки у формуванні особистості, й появі різноманітних деформацій психічних процесів. Так, вважаємо, що у феномені «постстресового синдрому» спричиненого військовими діями, необхідно звернути увагу і на нейробіологічні фактори, дати онтогенетичне пояснення взаємодії чинників довкілля і генетичної інформації, визначити адаптивне значення патерна поведінки у філогенезі і його причетність до появи конкретних форм деформації психіки.

У таблиці 1 представлено результати лонгітюдного дослідження особливостей підсвідомих реакцій особистості у період військових дій в Україні за допомогою інтерфейсу. Також здійснено порівняння (критерій Пірсона) між групами з дев'ятьма і контрольними.

Війна: ментальна трансформація нації

Повномасштабні війни, як-от агресія проти України, створюють тривале ментальне напруження. Тут генетико-креативний підхід відкриває унікальні шляхи реабілітації: поєднання психологічної підтримки, аналізу генетичних наслідків стресу та залучення до креативної діяльності (терапевтичне письмо, арт-терапія, музика) сприяє формуванню внутрішньої стійкості, особливо у дітей та молоді.

Когнітивна війна та трансформація оборонних стратегій України: аналіз другого етапу українського лонгітюдного дослідницького проекту

Другий етап українського лонгітюдного дослідницького проекту був присвячений глибокому аналізу феномена когнітивної війни, який у 2024 році набув нових якісних характеристик та проявів. Цей вид війни – боротьба за свідомість, мислення, сприйняття і рішучість – став визначальним чинником трансформації оборонних стратегій України у 2022–2024 роках.

Особливу увагу було приділено логістиці та організації нового типу бойових дій, які значно вплинули на ефективність української оборони. У процесі дослідження були проаналізовані як західні, так і українські джерела, що дозволило створити цілісну картину сучасного концептуального підходу до війни.

Зібрані дані та висновки вказують на те, що війна в Україні вже давно вийшла за межі традиційного збройного конфлікту. Вона трансформувалася в багатовимірну боротьбу, де військова стратегія тісно переплетена з інформаційними, психологічними та геополітичними компонентами. У цьому контексті когнітивна війна стала інструментом формування наративів, управління суспільною думкою та деморалізації супротивника.

Дослідження трансформації оборонних стратегій України навесні-влітку 2023 року показало унікальні риси адаптації української військової системи. Аналіз концептуальних і практичних підходів іноземних та вітчизняних військових експертів дозволив виявити основні переваги та ризики нової стратегії. До беззаперечних досягнень

слід віднести оновлену доктрину командування ЗСУ, підвищення ролі аналітики та інновацій, а також формування нових механізмів взаємодії між фронтом та тилом.

Головним стратегічним висновком дослідження стало розуміння того, що війна в Україні – це не лише боротьба за територію, а й за майбутнє Європи, глобальну безпеку та цінності демократичного світу. Саме в цьому контексті необхідно осмислювати оборонні переваги та наслідки їхнього застосування в українському середовищі.

Таким чином, результати другого етапу дослідження відкривають нові горизонти у розумінні сучасної війни – як на рівні концепцій, так і на рівні практичного командування. Вони є важливим кроком до формування національної та міжнародної безпекової політики майбутнього.

Генетико-креативна стратегія як відповідь майбутньому

Сучасне суспільство стикається з низкою глобальних загроз, таких як Чорнобильська катастрофа, пандемія COVID-19 та воєнні виклики, що ставлять під загрозу як фізичне, так і психічне здоров'я людства. Однак, в умовах надзвичайних ситуацій важливою є не тільки фізична, але й ментальна адаптація людей, здатність долати наслідки через розвиток внутрішніх ресурсів. В рамках цього підходу можна виділити концепцію «генетико-креативної стратегії», яка сприяє психоемоційній реабілітації та протистоянню різноманітним загрозам.

Генетико-креативний метод і його основні принципи

На етапі теоретичної розробки принципово нового методу, який має назву «генетико-креативний», були визначені основні його принципи: принцип розвитку, переживання, свободи, взаємодії, невизначеності та терапевтичного ефекту. Вони служать основою для розробки інноваційних підходів до подолання наслідків глобальних катастроф.

1. **Принцип розвитку** – це врахування онто- і актуалгенезу як саморозвитку складних гетерогенних систем, таких як особистість і група. Нужда, як вихідна сила, що спричиняє саморозвиток, має креативний характер. Вона є рушійною силою для соціалізації новонародженого індивіда, який відкривається для соціального світу через любов і взаємодію.

2. **Принцип переживання** акцентує важливість переживання як способу осмислення життєвих ситуацій. За М.В. Папучею, переживання допомагає людині знаходити сенс і осмисленість у світі, що допомагає психічному здоров'ю. Зовнішні дії через переживання змінюють свідомість і психологічний світ людини, що сприяє розвитку її емоційного інтелекту.
3. **Принцип свободи** передбачає, що процес навчання й саморозвитку людини направлений на формування свободи у прийнятті рішень, що стають реальними діями. Цей підхід сприяє розвитку внутрішньої активності особистості, що відкриває нові можливості для психо-емоційного росту.
4. **Принцип взаємодії** підкреслює важливість творчої унікальності особистості в процесі її розвитку. Спільна діяльність і взаємодія дозволяють розв'язувати суперечності та стимулювати креативність, що є необхідним для адаптації до змінюваного середовища.
5. **Принцип невизначеності та індетермінізму** передбачає, що процеси особистісного розвитку не можна повністю передбачити, оскільки вони залежать від внутрішніх і зовнішніх обставин, зокрема помилок, які можуть стати джерелом творчості.
6. **Принцип терапевтичного ефекту** підкреслює, що творчість і створення відповідного креативного середовища сприяють психологічному здоров'ю. Створення таких умов сприяє розвитку особистості, підвищуючи її здатність до адаптації і підтримки внутрішньої гармонії.

Впровадження генетико-креативної стратегії в реабілітації

Генетико-креативна стратегія спрямована на активне включення творчого потенціалу людини у процес реабілітації після травмуючих подій, таких як Чорнобильська катастрофа, пандемія COVID-19 чи воєнні виклики. Основними напрямками є створення колективних творчих проєктів, інтеграція нових підходів до навчання та розвитку, сприяння емоційному саморегулюванню та розвитку особистості через мистецтво, музику, літературу тощо.

Окрім того, важливо враховувати, що саморозвиток і соціалізація відбуваються на основі глибоких емоційних переживань, які стають

основою для психологічного здоров'я. Врахування генетичного підходу дає змогу зрозуміти взаємозв'язок між біологічними та соціальними аспектами розвитку людини, що відкриває нові горизонти для терапевтичних практик. Генетико-креативний підхід до подолання наслідків глобальних загроз виявляється важливим інструментом у процесі ментальної реабілітації. Завдяки інтеграції теоретичних принципів розвитку, переживання, свободи, взаємодії, невизначеності та терапевтичного ефекту, цей підхід сприяє зміцненню внутрішньої стійкості людини, розвитку її творчих потенціалів і сприяння досягненню психологічного благополуччя навіть в умовах складних соціальних і екологічних ситуацій.

Майбутнє людства залежить від нашої здатності адаптуватися, трансформувати досвід травм у точки зростання. Генетико-креативна стратегія – це не лише науковий чи мистецький інструмент, а нова філософія життя, де наука і креатив утворюють імунітет для свідомості – ментальний щит, здатний протистояти будь-яким глобальним загрозам.