ISSN: 2336-3630

STŘEDOEVROPSKÝ VĚSTNÍK PRO VĚDU A VÝZKUM

Vol. 2. № 2. 2026



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

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 2. № 2. 2026

Praha, České republika 2026

Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín “**Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum**” je registrován v České republice. Státní registrační číslo u Ministerstva kultury ČR: E 21425. Vol. 2. № 2. 2026. str. 333.

Vydavatel:

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

Editorial Board:

Editor-in-Chief –

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

Deputy Editor-in-Chief –

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

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

Editorial Board Members:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENT

Borysenko Nadiia

THE COMBINATORIAL APPROACH IN THE PROJECT-BASED TECHNOLOGICAL ACTIVITY OF SPECIALIZED SECONDARY SCHOOL STUDENTS 6

Karpenko Yurii

OCCUPATIONAL RISKS OF FIREFIGHTERS: COMPARATIVE ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS DURING URBAN AND FOREST FIREFIGHTING 22

Kurtakova Hanna

INTEGRATION OF INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW INTO THE PRACTICE OF LAW ENFORCEMENT AGENCIES 40

Maksymov Oleksii

EFFECTIVE INNOVATION IN FIBERGLASS FOR U.S. TRANSPORTATION AND DESIGN INDUSTRIES 54

Voloshko Liudmyla

THE ROLE OF STORYTELLING IN STRATEGIC MARKETING COMMUNICATIONS OF BUSINESS 68

Волянський Сергій, Добровольська Ліана, Козачук Антон

СПРОЩЕНА 3-DOF ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНОЮ МОРСЬКОЮ ПЛАТФОРМОЮ В УМОВАХ ХВИЛЬОВИХ ПЕРЕШКОД 81

Демчук Людмила, Кірейцева Ганна, Хоменко Світлана

ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ ТА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МАЙБУТНЬОГО 92

Захаріна Оксана, Мосієнко Оксана

РОЗВИТОК БРЕНДИНГУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ЗВ'ЯЗКІВ З ГРОМАДСЬКІСТЮ: ЗАРУБІЖНІ ПІДХОДИ ТА НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ 112

Каніфольський Олександр, Васильченко Олександра, Александровська Надія

ДОСЛІДЖЕННЯ М'ЯКИХ ВІТРИЛ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКОВОЇ СИЛИ ТЯГИ НА СУДНІ 128

Коломоєць Аліна, Черненко Олександр, Вовк Неля

ПСИХОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦІВ ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ 141

Махнюк Валентина, Коврига Сергій, Махнюк Володимир

БЛАГОУСТРІЙ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ТА ІНСТИТУЦІЙНІ МОДЕЛІ МУНІЦИПАЛЬНОГО САНІТАРНОГО НАГЛЯДУ ЯК ЧИННИКИ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ТА СТАЛОГО УРБАНІЗМУ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ 155

Пчеліна Оксана, Набільська Кіра

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ КРИМІНАЛЬНОГО СУДОЧИНСТВА 170

Пчеліна Оксана, Тимчук Яна

КРИМІНАЛЬНЕ ПРОВАДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ ТА ПРОЦЕСУАЛЬНІ НОВЕЛИ 184

Семенюк-Прибатень Анна

ВПЛИВ КІБЕРВІЙНИ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЕВОЛЮЦІЮ КОНЦЕПЦІЇ «СПРАВЕДЛИВОЇ ВІЙНИ» (JUS AD BELLUM TA JUS IN BELLO) 198

Тимоць Мирослава

ОЦІНКА ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ В УМОВАХ ВОЄННОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ 217

Калініченко Олександр

ПРАВОВИЙ СТАТУС ДЕРЖАВНОЇ МОВИ У СУЧАСНІЙ УКРАЇНІ 231

Zabrodskyi Ihor, Pankiv Tetiana, Khmara Tatiana

ANGIOGENESIS AS A MORPHOLOGICAL MARKER OF TUMOR GROWTH: AN ANALYSIS OF CURRENT LITERATURE DATA 246

Kavun Valentyna

QUANTIFYING FINANCIAL EXPOSURE WITHIN AGRICULTURAL ENTERPRISES: METHODOLOGICAL PARADIGMS AND RISK MANAGEMENT STRATEGIES 256

Kuchinka Veniamin

TECHNOLOGICAL DEFECTS IN TILE CLADDING: CLASSIFICATION, CAUSAL ANALYSIS, AND INNOVATIVE REMEDIATION METHODS 289

Боснюк Валерій, Хмиров Ігор

ВІДКРИТА НАУКА ЯК СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВОГО ПРОЦЕСУ 315

Borysenko Nadiia Anatoliivna, PhD of Pedagogical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Technological and Professional education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-5103-226X

THE COMBINATORIAL APPROACH IN THE PROJECT-BASED TECHNOLOGICAL ACTIVITY OF SPECIALIZED SECONDARY SCHOOL STUDENTS

Abstract

The article addresses current issues and prospects for the development of project-based technological activity in the system of technological education of general secondary education institutions in Ukraine under contemporary socio-economic challenges. The significance of students' technological training is substantiated as an important factor in shaping a creative, initiative-driven, and socially active personality capable of self-realization, professional self-determination, and adaptation to the dynamic changes of the 21st century. Special attention is paid to regulatory and legal documents that define the strategic directions of educational development and emphasize the necessity of forming key competencies, including critical thinking, entrepreneurship, creativity, and the ability to engage in lifelong learning.

Project-based technological activity is characterized as an effective pedagogical approach that integrates learning with practical activity, research, and creativity. Its main functions and pedagogical advantages for students and teachers are identified, including the development of independence, responsibility, communication skills, teamwork abilities, and the integration of interdisciplinary knowledge. The role of the teacher as a facilitator and mentor in project-based learning is highlighted.

Particular emphasis is placed on the use of the method of combination (combinatorics) in the design of interior objects within the educational module «Interior Design Objects». The essence of decorative-combinatorial form creation, its connection with the laws of composition, geometric forms, and modular design is analyzed. The expediency of applying the combinatorial-modular approach as a means of developing creative thinking, solution variability, and optimizing the structural and aesthetic characteristics of products is substantiated. The article concludes by emphasizing the important role of project-based technological activity in the formation of modern technological education and in preparing students for life and professional activity in an innovative society.

Keywords: project-based technological activity, combinatorics, design, decorative and applied arts, profile secondary school, learners.

Problem statement

In the current challenging conditions of social life in Ukraine, particularly in the context of the struggle to preserve statehood and the awareness of the challenges of the twenty-first century, the issue of increasing the effectiveness of technological training for learners has become especially relevant. The social environment and technology play a leading role in shaping a creative and proactive personality capable of mastering modern labor skills and abilities, elements of professional competence, and prepared for successful self-realization in the conditions of a market economy. A central place in this process is occupied by project-based technological activity in technology lessons at the profile secondary school level.

Such regulatory documents as the Laws of Ukraine «On Education», «On Complete General Secondary Education», the National Doctrine for the Development of Education of Ukraine in the 21st Century, the State Standard of Basic Secondary Education, and the New Ukrainian School Concept emphasize

the importance of developing students' ability for lifelong learning, critical and systemic thinking, goal setting and achievement, effective teamwork, as well as the demonstration of entrepreneurship, financial literacy, and creativity.

Project-based technological activity is valuable in that it teaches learners practical, systematic, independent, and purposeful work; develops interest in creating new products or improving existing ones; fosters diligence; promotes awareness of the possibilities for using the created product; and cultivates moral and work-related qualities, contributing to professional self-determination.

Project-based technological activity performs a number of functions: creative, research, transformative, technological, and economic. Its outcome includes not only a specific item, product, or service, but also the personal development of the learner.

Analysis of recent research and publications

In the scientific works of such researchers as V. Berbets, N. Borysenko, N. Dovmantovych, V. Yevtushevskyi, H. Ihnatenko, O. Kobernyk, V. Kurok, O. Lytvyn, A. Tereshchuk, T. Khoruzhenko, S. Yashchuk, O. Topuzova, N. Filipchuk, and others, the significance, essence, content, and technologies of applying project-based technological activity in the educational process of technology education in general secondary education institutions are substantiated.

The problem of teaching technology to upper secondary school students under modern socio-economic changes has constantly remained within the focus of attention of scholars and practicing educators, who propose various ways to address it. Today, this issue is being studied by researchers such as V. Burdun, V. Kurok, N. Kalinichenko, V. Makarchuk, A. Pashynskyi, V. Steshenko, S. Tkachuk, and others. Issues related to improving the forms of organization of technology education for senior students have been explored by N. Alik, S. Borysova, S. Mazurenko, I. Tsidylo, A. Tsyna, L. Shpak, S. Yashchuk, and others.

Purpose of the article

The purpose of the article is to theoretically substantiate the significance and pedagogical potential of project-based technological activity in the system of technological education of general secondary education institutions in Ukraine, as well as to analyze the feasibility of using the method of combination (combinatorics) in interior design as a means of preparing learners for professional activity under contemporary socio-economic challenges.

Presentation of the main material of the study

Technology education is aimed at deep mastery of knowledge and skills in the field of project-based, technical-technological, and everyday activities, as well as at developing the ability to realize one's own creative potential in various types of activity.

One of the compulsory-elective educational modules of the curriculum «Technologies. Grades 10–11» (standard level) is «Interior Design Objects». Among secondary education learners, this area traditionally enjoys considerable popularity in the process of designing and implementing their own ideas. Most objects used by people in everyday life have been known for a long time; however, their form and functionality are constantly changing and improving. This is due to technological progress, the introduction of innovative technologies, the use of modern materials, and changes in requirements for the products themselves.

In technology lessons, various design methods are used to create new versions of familiar objects, one of which is the method of combining (combinatorics). The word «combining» originates from Latin and means «to unite» or «to merge». The essence of the combining method lies in creating a new object by integrating individual features, properties, or parts of other objects. This method is widely used in the development of new products – such as furniture, automobiles, household appliances, and interior design items in particular. In the professional activity of designers and fashion artists, the method of combining plays an important, and often a key, role.

Project-based technological activity is currently regarded as one of the most promising, relevant, and in-demand approaches to teaching technology in upper secondary (specialized) school. The results of numerous pedagogical studies indicate that this form of learning organization has a positive impact on learners' intrinsic motivation, increases their level of academic achievement, and contributes to the effective implementation of elements of early career guidance. This, in turn, helps senior students make a more informed choice of their future profession and educational institution.

Scholars, including Barron, Darling-Hammond, and Thomas [3], identify a number of characteristic features of learning based on project-based technological activity:

– students apply the knowledge and skills they have acquired to solving real-life problems;

– the level of responsibility for completing assigned tasks increases, both individually and in teamwork;

– the teacher performs the roles of coach, mentor, and facilitator, and also organizes the reflection process;

– work is often carried out in pairs or groups, which fosters collaboration skills.

This approach to learning involves the active engagement of students in generalizing previously acquired knowledge and gaining new knowledge, as well as in creating their own products – project outcomes. In the course of their work, students develop critical thinking, analytical abilities, communication skills, creativity, and teamwork skills under conditions of limited time and clearly defined goals.

Education in general secondary education institutions is a socially oriented process. It takes place in conditions of collective interaction among students, taking into account the cultural context and the personal experience of learners. In

such an environment, project-based technological activity makes it possible to integrate knowledge from different subjects while simultaneously developing students' abilities to negotiate, make decisions, distribute responsibility for their roles within a project team, as well as present and justify the results of joint activities.

Project-based technological activity opens up new opportunities for students' self-expression and contributes to the identification of their talents and inclinations, which do not always emerge in the context of a traditional lesson. In addition, it often involves interdisciplinary connections, allowing students to go beyond the boundaries of a single academic subject. This expands both the opportunities for technology teachers' creative realization and the formation of practical skills in students that are difficult to develop through exclusively theoretical instruction.

As noted by J. Krajcik, «project-based learning in science is an engaging way to explore the world. By focusing on core ideas in combination with hands-on activities and crosscutting concepts, classrooms become learning environments where students, together with teachers, model phenomena, conduct investigations, develop and justify hypotheses, and support them with evidence and logical reasoning» [2].

Modern education in Ukraine in the twenty-first century is actively developing, which necessitates the introduction of innovative approaches, concepts, programs, methods, and technologies into the process of teaching technology subjects in general secondary education institutions. One of the main tasks of technological education at the specialized level is the formation of a personality capable of making conscious choices in various life situations. It is important to develop students' ability to adapt quickly to change, effectively solve practical problems, navigate the information environment, and build individual life trajectories.

An advantage of project-based technological activity in technology lessons is its focus on the development of students' key competencies. This method combines the gradual involvement of learners in creative work, which includes selecting an object of labor, planning the stages of implementation, analyzing analogues, working with information sources, and implementing optimal solutions. The foundation of such learning is a learner-centered approach that takes into account the interests and needs of students. The role of the teacher is to organize students' independent activity, provide methodological support, and guide their actions [1].

According to O. Kobernyk, the application of the project method in technology lessons ensures the development of the following in students: the formation of skills for independent information search in various sources; the development of technological thinking through practical interaction with materials and tools; increased independence that stimulates creativity and originality; strengthening of emotional and volitional qualities that help overcome difficulties during task performance; development of logical and abstract thinking; acquisition of self-education and self-development skills; increased learning motivation through task individualization; formation of purposeful activity as a basis for professional self-determination; development of business communication culture and the ability to express one's own opinion in a reasoned manner and present activity results; stimulation of creative thinking, the search for non-standard solutions, and the formation of an innovative approach; integration of knowledge through interdisciplinary connections; mastery of project documentation skills; and the formation of essential life competencies for professional and social realization [4].

Let us analyze the advantages of project-based technological activity in the educational process. Project-based technological activity opens up new

opportunities for all participants in education, contributing not only to the acquisition of knowledge but also to the development of key competencies.

For learners, the advantages include the following:

– the traditional perception of the classroom changes: it becomes an open, dynamic space in which students can develop at an individual pace and along a personal learning trajectory;

– by performing practice-oriented tasks, students feel the need for continuous self-development and improvement of their knowledge and skills, and learn to process information independently;

– instead of mechanical memorization and reproduction of material, the learning process becomes integrated and inquiry-based, focused on discovering new knowledge and presenting results;

– students go through all the key stages of product creation, similar to real production processes: from the emergence of an idea, its modeling and design, to implementation, evaluation, and improvement of the final product;

– social skills are formed, including the ability to work in a team, distribute responsibilities, make joint decisions, and justify one's own viewpoint.

For teachers, the advantages include the following:

– teachers gain new opportunities for high-quality interaction with students: instead of the traditional role of a source of knowledge, they act as mentors, facilitators, and coordinators of the project process;

– there is an opportunity to better reveal students' individual abilities by selecting tasks in accordance with their interests, aptitudes, and level of preparedness;

– motivation for continuous professional development increases, along with the need to implement innovative approaches and to reflect on and update methodological tools.

An educational environment formed on the basis of the project-based technological approach creates prerequisites for:

– students' self-identification as individuals;

– the formation of stable intrinsic motivation;

– increased ability to integrate knowledge;

– self-affirmation and self-expression through productive activity.

In the design process, an important stage is substantiating the relevance of the chosen topic, applying specialized research methods, conducting experimental verification of possible ways to solve the problem, and searching for new approaches to implementing the defined tasks. Project activity is capable of producing not only material objects but also intellectual products – drawings, textual documents, calculations, charts, software, three-dimensional computer models, and other outcomes of intellectual work.

At the same time, for example, in the field of engineering design, the final result of project work must necessarily be embodied in a real, physically existing object. It is precisely this object that makes it possible to adjust calculations, as well as to verify the structural and technical parameters embedded in the project [4].

The term «project» is often used in a broad, interdisciplinary sense. In this understanding, it denotes the scientifically grounded formation of a system of parameters of a future object, phenomenon, or process, combined with the means of achieving a defined goal. Such a multifaceted approach to interpreting a project opens wide prospects for its application in production, scientific activity, and everyday human life.

For design goals to be implemented in a timely and effective manner, it is necessary to create a set of conditions that ensure the achievement of interrelated objectives: social integration, socio-economic effectiveness, civic engagement, and organizational manageability of the process.

The main purpose of design lies in determining a set of means capable of solving the identified problems and ensuring the achievement of the planned results. These means are fixed in two complementary forms:

1. as a list of specific measures that guarantee the implementation of the planned characteristics and indicators;

2. as a system of parameters of the future object and their quantitative measurements [5].

Thus, project-based technological activity is not only an effective means of instruction but also an important factor in education, contributing to the formation of a modern, creative, and socially active personality prepared for life in a dynamic world. Project-based technological activity is a key component of the contemporary educational field «Technology». It involves a holistic and staged process of creating an object of labor—from conception to implementation – taking into account environmental, economic, and entrepreneurial aspects. Its introduction into specialized education promotes the acquisition of technological knowledge, the development of practical skills, and the education of conscious, creative, and competent individuals.

In order to understand decorative-combinatorial form-making, it is necessary to possess knowledge of the fundamentals of composition in art studies. Every object created by humans, depending on its form and structure, acquires certain compositional characteristics.

Composition (from Latin *composition* – «putting together», «combination») is the organization of a holistic product in which all elements are harmoniously coordinated. The main means of form-making in composition include:

– the volumetric-spatial structure and tectonics of the product;

– scale, proportions, rhythm, and meter inherent in the object;

– contrast or nuance in the process of form creation;

– symmetry or asymmetry in construction, organization, or decoration;

– the coloristic solution of the object and its individual parts;

– the surface quality and texture of the material from which the product is made.

The volumetric-spatial structure of a composition is the aesthetically considered interdependence between the form of an object, its internal structure, and its environment. It is based on the combination of internal and external harmony, which should be inherent in any artificially created object.

In addition to the plastic properties of form, the physical characteristics of an object's surface – such as the surface finish and texture of the material – play an important role in the process of form creation.

The artistic and aesthetic means of composition include color scheme, as well as contrast and nuance in the combination of various elements.

Combinatorics is a branch of mathematics that studies discrete sets, their elements, and various ways of combining them, including permutations, arrangements, and combinations. It is closely related to algebra, geometry, and probability theory and is used in many fields, such as genetics, computer science, and statistical physics. The term was introduced by G. Leibniz in his work Dissertatio de Arte Combinatoria.

In an artistic context, combinatorics is understood as: a theoretical approach that explores form creation through various combinations of elements; and a method of form generation based on variation and combination of geometric shapes.

Thus, combinatorics is a system of techniques that allows for finding diverse variants of combinations, arrangements, and permutations of given elements.

The main objectives of combinatorial form creation include ensuring the uniqueness of compositional solutions, decorative value, and aesthetic expressiveness.

A decorative combinatorial element should organically integrate into any structure and function as a component of the overall composition. The most productive approach is the search for such elements based on geometric shapes with rectilinear contours. In nature, a great variety of geometric forms can be observed. Nature often unifies these structures, for example in flower petals, tree leaves, cereal grains, fish scales, or animal shells. Decorative combinatorial elements created by analogy with natural forms that have curvilinear contours possess more limited form-generating potential. These possibilities depend on the structural type of the element (its geometric parameters), the degree of regularity of its structure, and the level of its inherent symmetry. The least form-generating elements are the circle or curvilinear contour, whereas elements in the form of a square, an equilateral triangle, or a rectangle have significantly greater form-generating capacity.

Thus, in interior product design, combinatorial–modular design is considered one of the most promising methods. The systematic variation of modular, unified structural elements in different combinations, arrangements, and permutations makes it possible to modify product constructions. Modular design ensures structural, technological, and functional completeness. The interchangeability of combinatorial–modular elements and the universality of constructions increase the economic efficiency of models, while the use of such modules contributes to rhythmic coherence of parts and harmony of the overall form.

One of the effective means of improving project-based activity is the use of combinatorics. This method is widely applied in the fields of design, architecture, mathematics, biology, programming, and others. The combinatorial approach makes it possible to create a variety of functional and aesthetic solutions based on a limited number of elements. For example, DNA is formed from a limited set of

nucleotides, music from a certain number of notes, and language from letters and sounds.

In the project-based technological activity of specialized secondary schools, combinatorics contributes to the creation of new forms and structures through the variable combination of already known elements. This optimizes the creative search and makes it possible to achieve the desired aesthetic or functional result with fewer resources. In particular, when developing products or ornaments, students experiment with combining basic parts and elements, forming complex compositions [4].

Thus, the application of combinatorics in design promotes the development of students' creative thinking, encourages experimentation, and enables the creation of new solutions without the need to constantly invent fundamentally new elements. This approach is relevant in both technical and artistic creativity.

More often, during the design of interior objects, students apply combinatorial techniques. A technique is understood as a method of execution or achievement of something, or a set of actions aimed at attaining a specific goal.

Combinatorial techniques in project-based technological activity help to find optimal solutions and variants for creating new objects or improving existing ones. They make it possible to systematize and explore various combinations of elements, properties, and characteristics, which leads to more effective and innovative solutions.

Combinatorial techniques in project-based technological activity can be applied for different purposes.

1. Development of new products and services. They help identify optimal combinations of functions, forms, materials, and technologies for creating new products with improved characteristics. For example, in website development, different blocks, design elements, and functional features can be combined to create a user-friendly and visually appealing interface.

2. Optimization of production processes. Combinatorial techniques can be used to determine the optimal sequence of operations, the placement of equipment in the workplace, and the distribution of resources. For example, in production planning, various technological processes can be combined to minimize production time and costs.

3. Search for creative solutions. Combinatorial techniques promote the development of creative thinking and the generation of new ideas. For example, when creating products in technology lessons, different shapes, colors, textures, and materials can be combined to produce unique and expressive works.

The application of combinatorial techniques in practical activities during technology lessons is often limited by certain conditions, in particular the number of available elements, the rules governing their combination, functional characteristics, the type of material being processed, and the level of complexity of the product appropriate for a specific grade. The most common way of generating new variants is permutation, which is frequently used in the creation of compositions, models, construction, design, and programming.

Conclusions

Thus, modern technological education in Ukraine is aimed at developing twenty-first-century competencies that ensure students' ability to adapt to rapid changes, think creatively, and act effectively in various life situations. An important component of this process is project-based technological activity, which combines independent information search, practical work with materials, the development of logical and abstract thinking, the capacity for self-education, and professional self-determination. This approach not only enhances learning motivation but also fosters a culture of business communication and the ability to present the results of one's own activities.

The use of combinatorial techniques in design significantly expands opportunities for creative exploration and optimization of solutions.

Combinatorics makes it possible to vary forms, elements, and their combinations, and to create new structures and compositions in both technical and artistic tasks. The application of such techniques develops students' ability to recognize patterns, generate unconventional ideas, work effectively with limited resources, and select optimal options from a wide range of possibilities. As a result, combinatorial methods become an essential component of modern project-based technological activity, supporting the development of creativity and innovative thinking among students.

References

1. Borynets, N. I. (2010). Proiektno-tekhnolohichna diialnist uchniv ta vchyteliv trudovoho navchannia [Project-based technological activity of students and teachers of labor education]. *Osvitolohichnyi dyskurs*, (1), 32–41. http://nbuv.gov.ua/UJRN/osdys_2010_1_5 [in Ukrainian].

2. Diomina, I. (2018). *Proiektne navchannia: korotko pro holovne* [Project-based learning: Briefly about the main points]. https://nus.org.ua/2018/02/21/proektne-navchannya-korotko-pro-golovne/ [in Ukrainian].

3. Kaliničenko, I. O., & Bilyk, N. I. (Eds.). (2021). *Naukovo-metodychnyi pidkhid do vdoskonalennia pedahohichnoi maisternosti pedahohichnykh pratsivnykiv u systemi pidvyshchennia kvalifikatsii* [Scientific and methodological approach to improving pedagogical mastery of teaching staff in the professional development system]. POIPPO. http://poippo.pl.ua/nml/elektronni-vydannia-poippo [in Ukrainian].

4. Kobernyk, O. M. (Ed.). (2014). *Teoriia i metodyka navchannia tekhnolohii* [Theory and methodology of teaching technology]. FOP Zhovtyi. [in Ukrainian].

5. Myhal, S. P. (1999). *Proiektuvannia mebliv* [Furniture design]. Svit. [in Ukrainian].

Karpenko Yurii, Independent Researcher, Fire Department Commander, Junior Industrial Design Officer, Zhytomyr Technological College, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6366-7496

OCCUPATIONAL RISKS OF FIREFIGHTERS: COMPARATIVE ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS DURING URBAN AND FOREST FIREFIGHTING

Abstract

The relevance of the study is determined by the increase in the intensity and complexity of various types of fires, accompanied by an increase in occupational risks for firefighters and requiring a differentiated scientific analysis of the conditions of their activities. The purpose of the article was to conduct a comparative analysis of the occupational risks of firefighters, taking into account the specifics of working conditions during the elimination of urban and forest fires and identifying threats to their physical and mental health. The methodological basis of the study was comparative and systematic analysis, analysis and synthesis of scientific publications, generalization of empirical data from medical, physiological, and psychological studies of firefighters, as well as analytical comparison of professional activity conditions depending on the type of fire. The study found that the occupational risks of firefighters are multi-component and cumulative in nature and are influenced by physical, chemical, psychophysiological, and organizational and technical factors. It was found that urban fires are characterized by peak thermal and psycho-emotional stress, increased toxicological complexity of combustion products, and a high level of responsibility for the safety of the civilian population. In contrast, forest fires involve prolonged physical stress, severe heat stress, autonomy of action, and chronic lack of recovery. Empirical data confirm differences in the profiles of

health risks for firefighters, particularly with regard to the development of heat disorders, respiratory disorders, and stress-induced mental states. It is justified that the recurrence and duration of exposure to harmful factors cause long-term negative consequences for the occupational health of personnel. The practical significance of the results lies in the possibility of using them to develop differentiated approaches to occupational risk management, improve the occupational safety system, work and recovery regimes, as well as medical and psychological support programs for firefighters depending on the type of fire.

Keywords

Physical exertion, severe heat stress, autonomy of activity, lack of recovery, medical and psychological support programs.

Introduction

The current conditions for the functioning of civil protection services are characterized by an increase in the number and complexity of fire emergencies, which is caused by intensive urbanization, climate change, increased technogenic load, and degradation of natural ecosystems [1]. In these conditions, the professional activities of firefighters are characterized by a high level of risk to life and health, which necessitates an in-depth scientific analysis of the factors of danger and working conditions during the elimination of various types of fires [2]. Of particular relevance is the study of the specifics of occupational risks in the context of urban and forest fires, which differ significantly in terms of their nature of development, dynamics, spatial organization, and the combination of influential harmful factors.

Urban fires are usually accompanied by the threat of structural collapse, explosions, the influence of toxic combustion products, and difficult conditions for evacuating the population, while forest fires are characterized by their scale, prolonged physical stress, limited access to resources, the impact of high

temperatures in open areas, and the unpredictability of the direction of the fire [3]. Despite the obvious differences between these environments, scientific research often lacks a systematic comparative approach to analyzing firefighters' working conditions, which complicates the development of effective models for managing occupational risks and measures to prevent negative consequences for personnel [4].

Literature Review

In the scientific database dedicated to the safety and health of firefighters, there is a clear trend toward detailing individual components of occupational risk – from organizational factors of unit operations to physiological reactions to heat stress and toxicological exposure. Thus, in a study by L. Moore-Merrell et al. [1] convincingly showed that the number of guards is not only a management parameter, but also a factor directly related to the level of safety in performing tasks and the likelihood of adverse health effects. The authors emphasize that insufficient staffing of a unit can increase the individual workload on firefighters, reduce tactical flexibility, and complicate the simultaneous execution of critical operations at a fire. As a result, the study draws an important conclusion: organizational decisions regarding the composition of the unit are indirectly converted into physiological and operational stress, and therefore into risks of injury and overload for personnel.

The issue of functional performance after exposure to extreme conditions is specified in the work of K. E. Games et al. [2], which focuses on how the combination of physical load and unfavorable environmental parameters affects the performance of motor and applied tasks. The results demonstrate that after exposure to “fire” loads, firefighters' functional performance declines, which has a direct impact on safety in dynamic situations. It is important to note that this is not just about subjective fatigue, but about changes that can impair the efficiency and

accuracy of work at a time when the risk of errors depends on motor control and reaction speed.

The issue of recovery after firefighting as a critical link in maintaining occupational health is explored in depth in a study by G. P. Horn et al. [3]. The authors show that physiological recovery does not automatically end after the active phase of work has ceased: even during the rehabilitation period, elevated stress indicators and signs of incomplete return to the initial state may persist. This is fundamental for risk assessment, because in the context of repeated deployments, “non-recovery” becomes a cumulative mechanism – it can increase the body's vulnerability to heat stress, dehydration, and cardiovascular complications during subsequent operations. Thus, the study substantiates that the risks to firefighters are determined not only by the peak of exposure, but also by the quality and adequacy of recovery between work episodes.

The specifics of energy expenditure and heat load in natural fires are detailed by J. S. Cuddy et al. [4], who demonstrate that it is the work patterns (mode, pace, distribution of effort over time) that determine the level of energy requirements and thermal stress in forest firefighters. The conclusions of this work emphasize that natural fires are characterized not so much by short-term intensity as by the long-term “cost” of work, which accumulates and is exacerbated by limited opportunities for rest and rehydration. The results obtained actually explain why, in the context of forest fires, health risks often manifest themselves through exhaustion and heat disorders: prolonged operations create a consistently high level of physiological stress that is difficult to compensate for with standard short breaks.

The toxicological assessment of occupational risks for firefighters has been thoroughly examined by K. W. Fent et al. [5], who empirically prove the significance of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during firefighting. Their results emphasize that contact with combustion products

is not limited to inhalation, and that contamination of the skin and equipment can be an additional channel for harmful substances to enter the body. This shifts the focus of risk management: along with protecting the respiratory system, decontamination procedures, equipment handling, and control of secondary transfer of contaminants, which is directly related to long-term health risks.

A separate area of risk in wildfires is reflected in the work of K. M. Navarro et al. [6], which emphasizes that intense smoke exposure in forest firefighters poses an additional danger in the context of respiratory threats, particularly during pandemic challenges. The authors demonstrate that the risk profile of forest firefighters can be complicated by the "overlap" of factors: prolonged smoke inhalation creates vulnerability in the respiratory system, which under certain conditions exacerbates the potential negative effects of infectious agents and respiratory complications. As a result, the study broadens the understanding of the risks of forest fires not only as thermal and physiological, but as complex medical and environmental threats that are relevant in modern conditions.

Despite substantial evidence regarding certain aspects of occupational risk, there are still a number of gaps in the scientific literature that complicate the development of comprehensive and differentiated approaches to occupational safety for firefighters [1-6]. Empirical data on physiological recovery, functional working capacity, and heat stress are presented without a systematic comparison of urban and forest contexts, although it is the type of fire that determines the duration of the operation, the availability of resources, and the nature of the hazards.

The purpose of the article was to conduct a comparative analysis of the occupational risks of firefighters, taking into account the specific conditions of their work during the elimination of urban and forest fires.

Research Results

The professional activities of firefighters are classified as high-risk work due to the specific nature of their tasks in emergency situations involving fire, high temperatures, and combustion products. The impact of hazardous and harmful factors during firefighting is complex, cumulative, and mutually reinforcing, as firefighters are simultaneously exposed to several risk factors of different nature [7] (Table 1). These factors arise from a combination of physical, chemical, biological, psychophysiological, and organizational and technical conditions of professional activity, which significantly complicates the process of ensuring occupational safety and preserving the health of personnel. Awareness of the multifactorial nature of risks is a necessary prerequisite for their further scientific analysis and justification of effective preventive measures.

Physical hazards are among the key factors in the occupational risks faced by firefighters, as they are directly formed by the physical environment of a fire and have an intense impact on the functional state of the body [10]. The effects of high temperatures and heat radiation lead to significant disruption of thermoregulation processes, increased heat load, and rapid depletion of the body's physical resources. Prolonged exposure to heat combined with limited heat dissipation due to the use of personal protective equipment increases the risk of overheating, heat stroke, and burns, which negatively affects the endurance, reaction speed, and accuracy of a firefighter's movements [11]. An additional complicating factor is smoke and limited visibility, which disrupt spatial orientation, increase the likelihood of injury, and complicate the coordination of actions within the unit [3]. Increased noise levels from equipment, explosions, or structural collapse create additional sensory overload and reduce the effectiveness of command perception. The danger of building elements collapsing in urban fires or trees and branches falling during forest fires creates a constant threat of sudden injury, forcing firefighters to work in conditions of increased stress and limited mobility [4].

Table 1

Main hazardous and harmful factors in the professional activities of firefighters and their impact on the functional state of the body

Group of factors	Characteristics of impact	Main manifestations and risks for firefighters
Physical factors	Formed by the immediate physical environment of the fire and act intensively throughout the entire period of liquidation	Disruption of thermoregulation due to high temperatures and heat radiation; risk of burns, overheating, and heat stroke; decreased endurance and accuracy of movements; impaired spatial orientation due to smoke and limited visibility; increased risk of injury due to collapsing structures or falling trees
Chemical factors	Caused by inhalation of combustion products and toxic substances of various origins	Acute hypoxic conditions, respiratory dysfunction, decreased performance; cumulative toxic effect with repeated participation in firefighting; increased risk of chronic diseases of the respiratory and cardiovascular systems; different chemical structure of harmful substances depending on the type of fire
Psychophysiological factors	Arise from a combination of physical exertion, stress, and high responsibility	Increased psycho-emotional tension; the need to make decisions in conditions of time and information deficit; the development of chronic stress and professional burnout; sleep disturbances, decreased concentration and cognitive functions; increased likelihood of errors in actions
Organizational, technical, and ergonomic factors	Determined by the conditions of the service organization, technical support, and the nature of interaction within the unit	Uneven workload and long shifts; fatigue buildup due to insufficient recovery time; limited maneuverability in difficult terrain; communication risks within the team; equipment that does not match the anthropometric and functional capabilities of firefighters

Source: compiled by the author based on [8; 9]

A significant component of occupational risk is chemical hazards associated with inhalation of combustion products and toxic substances. When extinguishing fires, firefighters are exposed to carbon monoxide, fine particles, volatile organic compounds, and carcinogenic substances, which, even when using respiratory protection equipment, can partially penetrate the body [7]. Acute exposure to such substances causes respiratory dysfunction, hypoxic conditions, headaches, and reduced performance, while repeated or prolonged exposure has a cumulative effect and increases the risk of developing chronic diseases of the respiratory and cardiovascular systems. The diversity of combustion products depending on the fire environment poses a particular danger: in urban areas, this is due to the combustion of synthetic materials and chemical compounds, while in forest fires, smoke from organic biomass dominates, which also has a harmful effect, but with a different chemical structure [6]. Thus, chemical factors pose not only an immediate health threat, but also long-term negative consequences that are often underestimated.

No less significant are the psychophysiological factors that determine the psychological stability and cognitive efficiency of firefighters in the process of performing their professional tasks [12]. Firefighting takes place in conditions of high psycho-emotional stress associated with real risk to life, responsibility for the safety of the civilian population and team members, as well as the need to make quick decisions when time and information are scarce. Chronic exposure to stressors contributes to the development of psycho-emotional exhaustion, professional burnout, and a decrease in the ability to concentrate [13]. Sleep disturbances, irregular work shifts, and prolonged physical exertion further impair cognitive functions, which can lead to errors in actions and an increased risk of injury. The combination of intense physical exertion and constant psychological stress pushes the body to its limits, where even minor external influences can have critical consequences for the safety of task performance [14].

Organizational, technical, and ergonomic factors also play a significant role in shaping the occupational risks of firefighters, as they determine the conditions and effectiveness of their activities. Uneven workloads, long shifts, and insufficient time for recovery lead to fatigue and reduced functional readiness [15]. Difficult access to the scene of a fire and limited maneuverability in dense urban areas or rough terrain complicate the execution of tactical tasks and increase physical exertion. An important aspect is the quality of teamwork and effective communication, as any failures in the transmission of information in conditions of increased noise and stress can have critical consequences [8]. In addition, the incompatibility of equipment with the anthropometric and functional capabilities of firefighters negatively affects mobility, accuracy of actions, and speed of response, which together exacerbates the impact of other dangerous and harmful factors.

The conditions of firefighters' professional activities are determined not only by the type of fire, but also by a combination of spatial, infrastructural, and organizational characteristics of the environment in which the emergency is being responded to [16]. It is the environment in which the tasks are performed that determines the specifics of tactical actions, the level of technical support, the intensity of physical and psycho-emotional stress, and the degree of risk to the life and health of personnel. Urban and forest environments differ significantly in terms of the density of objects, resource availability, operational management capabilities, and the nature of fire development, which determines the formation of fundamentally different models of professional activity for firefighters [10]. In these conditions, effective performance of tasks requires firefighters to have different levels of mobility, autonomy, and tactical adaptation, as well as the ability to quickly change their strategy according to the dynamics of the fire situation.

The conditions of professional activity of firefighters in urban environments and when extinguishing forest fires differ significantly in terms of spatial, infrastructure, and organizational parameters, which determines the different nature of the performance of official duties and the level of professional workload [4]. The urban environment is characterized by high building density, the presence of multi-story and underground structures, complex engineering infrastructure, and a significant concentration of population, which necessitates the simultaneous solution of tasks such as firefighting, evacuation of people, and interaction with other emergency services. In such conditions, firefighters are forced to operate in a confined space, under conditions of rapidly changing circumstances and an increased risk of sudden structural collapses, explosions, or damage to communications, which requires a high level of tactical coordination and precision of actions [6].

In contrast, when fighting forest fires, firefighters work in an open natural environment, which is characterized by significant areas of fire spread, unpredictable fire direction, and strong dependence on meteorological and landscape conditions [7]. In such circumstances, the mobility and autonomy of units, as well as their ability to work for long periods of time with limited access to water, equipment, and means of communication, become key factors. Long marches across rough terrain, high temperatures in open spaces, and the need for continuous monitoring of wind direction changes significantly increase the physical load and level of exhaustion of firefighters [8].

A comparative analysis shows that infrastructure and technogenic factors play a leading role in urban environments, while natural and climatic conditions dominate in forest firefighting [6] (Table 2). In cities, risks are often local but highly concentrated and related to limited space and the presence of civilians, while forest fires require operations that are extended in time and space, requiring prolonged physical endurance and autonomous decision-making.

Table 2

Comparative characteristics of the conditions of professional activity of firefighters in urban environments and when extinguishing forest fires

Comparison criterion	Urban environment	Forest fires
Spatial organization of work	Limited space, dense buildings, multi-storey and underground structures	Open spaces, large areas of ignition, rugged terrain
Nature of fire development	Rapid local escalation, complex internal dynamics	Spread over long distances, dependence on wind and terrain
Infrastructure conditions	Presence of engineering networks, transport infrastructure, man-made objects	Limited or no infrastructure, complex logistics
Access to resources	Relatively quick access to water, equipment, and reinforcements	Limited access to water, equipment, and material resources
Level of autonomy of subdivisions	Low or medium, high centralization of management	High level of autonomy, long-lasting independent operation
Physical exertion	Intense, but often short-term	Long, exhausting, with high demands on endurance
Psycho-emotional load	High due to the presence of civilians and the risk of mass casualties	High due to the duration of operations and uncertainty of fire development
Coordination	Close coordination with other emergency and municipal services	Interregional or interagency coordination, decentralization of forces
Main occupational risks	Collapse of structures, explosions, toxic combustion products	Overheating, physical exhaustion, sudden changes in the direction of fire
Tactical requirements	High precision of actions, quick adaptation in confined spaces	High mobility, flexibility, and autonomous decision-making

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

At the same time, both types of environments are united by the highly dynamic nature of the fire situation, which forces firefighters to constantly adapt their tactics and work in conditions of increased professional risk [4].

The specific characteristics of the stresses and threats to the health of firefighters vary significantly depending on the type of fire, as urban and forest fires create different profiles of physiological, toxicological, and psycho-emotional effects [4]. In an urban environment, work is often characterized by shorter duration but peak in intensity episodes of physical exertion, combined with severe heat stress in personal protective equipment and the need to perform complex maneuvers in confined spaces. Empirical data from studies of repeated firefighting cycles show that during several hours of operation, the body temperature of firefighters can increase by an average of almost 2 °C and continue to rise even between work cycles, despite relatively long breaks, indicating incomplete recovery of thermoregulatory mechanisms and accumulation of heat load [7]. In practical terms, this means an increased risk of heat exhaustion, impaired movement accuracy and reaction speed, as well as an increased likelihood of errors in tactical actions at critical moments.

For forest fires, a more typical scenario is prolonged submaximal exertion with high demands on endurance, autonomy, and the ability to maintain performance over a long period of time [8]. Field observations of work during the extinguishing of natural fires show that the average heart rate can reach approximately 150 beats per minute, and body temperature can reach approximately 38°C when working with hand tools in hot weather, which reflects the significant physiological cost of such operations [12]. Against this background, the key risk mechanism is the combination of heat stress with dehydration and limited access to restorative resources, which increases the risk of cardiovascular complications, heat disorders, and overall functional instability of units in the final phases of prolonged operations.

The toxicological profile of hazards also has fundamental differences. In urban fires, the burning of synthetic materials and complex composites plays a significant role, accompanied by the formation of toxic and potentially carcinogenic compounds, as well as fine particles [13]. Empirical studies of firefighters' exposure during controlled structural fires record a statistically significant increase in benzene exposure after work, as well as an increase in polycyclic aromatic hydrocarbon contamination on skin areas (particularly in the neck area) and links between external pollutant concentrations and internal dose biomarkers [15]. This is important for substantiating that the health risk is formed not only through inhalation, but also through dermal contamination and the subsequent cumulative effect of repeated trips, which increases the long-term threats to respiratory health and potential oncological risks. Similarly, empirical data from field measurements in firefighters confirm the presence of skin, equipment, and work environment with carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which highlights the importance of decontamination procedures and reducing contact with combustion products as risk management elements [17].

For forest fires, despite the different chemical profile of smoke (dominated by biomass combustion products), the critical factor is the duration of inhalation exposure and the repetition of exposure over many hours or days [12]. In such conditions, health risks are more likely to manifest themselves through the accumulation of irritating and inflammatory effects on the respiratory tract, which requires an emphasis on long-term medical observation, prevention, and recovery standards, rather than just controlling acute symptoms [10].

A separate layer of threats is formed by psychophysiological stress, which depends on the context of the fire and the structure of operations. In an urban environment, psycho-emotional pressure is exacerbated by the need for evacuation, the high probability of contact with traumatic events, and

responsibility for the lives of civilians and colleagues in a situation of rapidly escalating risks [5]. In forest fires, on the other hand, a chronic stress profile is more common, associated with the duration of operations, sleep deprivation, uncertainty about the development of the fire, and prolonged tension against a backdrop of physical exhaustion. Empirical studies in the field of mental health of rescuers confirm that post-traumatic symptoms are a common problem among firefighters, and meta-analyses indicate a significant proportion of individuals with probable post-traumatic stress disorder (PTSD) in this occupational group; In particular, global samples report estimates of around 12% for firefighters in the context of routine occupational exposure, which highlights the systemic nature of the problem [3]. Importantly, psychophysiological risks have a direct operational dimension: experimental data on modeling the extinguishing of natural fires in very hot conditions show a deterioration in cognitive functions after working in the heat compared to a moderate environment, i.e., heat stress and fatigue can reduce the quality of decision-making precisely when it is critically needed [5]. In addition, survey data from a large sample of firefighters involved in extinguishing wildfires demonstrate that the vast majority of respondents identify heat stress as one of the main threats during such operations, confirming the practical significance of the problem and its perception by personnel as systemic.

In summary, it can be argued that urban fires form a more peaky load profile with pronounced technogenic uncertainty, high toxicological complexity, and acute psychoemotional triggers, while forest fires more often create a prolonged risk profile dominated by physical exhaustion, heat stress, repeated inhalation exposure, and chronic recovery deficit [7]. Accordingly, empirical data support the conclusion that a unified model of occupational safety and medical and psychological support is not appropriate: different types of fires require differentiated approaches to work and recovery regimes, decontamination

procedures, thermal load control, as well as psychological support programs and prevention of stress-induced disorders [8].

Conclusions

The analysis showed that firefighters' professional activities are carried out in conditions of increased and multi-component risk, the structure and intensity of which significantly depend on the type of fire and the environment in which it is extinguished. It has been established that hazardous and harmful factors are complex and cumulative in nature, resulting from the interaction of physical, chemical, psychophysiological, and organizational and technical working conditions, which directly affect the functional state and health of firefighters.

It has been established that the conditions of professional activity in an urban environment and when extinguishing forest fires form fundamentally different models of stress. Urban fires are characterized by high intensity of short-term physiological and psycho-emotional influences, increased toxicological complexity of combustion products, and significant responsibility for the safety of the civilian population, while forest fires are characterized by prolonged physical exertion, heat stress, autonomy of actions, and limited opportunities for rapid recovery.

Empirical data used in the study confirm that these differences result in different health risk profiles for firefighters. In urban environments, acute thermal and toxicological risks dominate, as well as stress-induced disorders associated with extreme events, while in forest firefighting, the risks of chronic fatigue, dehydration, respiratory disorders, and cumulative psycho-emotional exhaustion are more pronounced. This indicates the systemic nature of the impact of occupational stress and its long-term consequences for the physical and mental health of personnel.

Prospects for further research are related to an in-depth quantitative analysis of the impact of individual risk factors, the development of integrated models for

assessing occupational stress, and empirical testing of the effectiveness of specialized programs for the prevention and preservation of firefighters' health in various professional settings.

References

1. Alexandrov, Y. V. (2020). Features of professional activity of fire-fighters-rescuers of the State Emergency Service of Ukraine and their psychological analysis. Personality, Society, Law, 175–178. https://dspace.univd.edu.ua/server/api/core/bitstreams/45a74527-22b5-4685-9208-5c37b96998b3/content

2. Babenko, M. (2024). Socio-psychological factors of professional self-realization development of future fire safety specialists. In Problems of psychology of activity in special conditions: Proceedings of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (pp. 1–350). Kyiv: 7BC. https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi79/0059548.pdf

3. Cuddy, J. S., Sol, J. A., Hailes, W. S., Ruby, B. C., & Hargens, A. R. (2015). Work patterns dictate energy demands and thermal strain during wildland firefighting. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 12(9), 632–640. https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1043058

4. Fent, K. W., Eisenberg, J., Evans, D., Sammons, D., Robertson, S., Striley, C., & Kerber, S. (2014). Evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in firefighters. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 11(10), 699–711. https://doi.org/10.1080/15459624.2014.935269

5. Fent, K. W., Evans, D. E., Booher, D., Pleil, J. D., Stiegel, M. A., Horn, G. P., & Dalton, J. (2015). Volatile organic compounds off-gassing from firefighters' personal protective equipment ensembles after use. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 12(6), 404–414. https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1025135

6. Games, K. E., Winkelmann, Z. K., McGinnis, K. D., McAdam, J. S., Pascoe, D. D., & Sefton, J. M. (2020). Functional performance of firefighters after exposure to environmental conditions and exercise. Journal of Athletic Training, 55(1), 71–79. https://doi.org/10.4085/1062-6050-75-18

7. Groot, E., Cuddy, J. S., & Ruby, B. C. (2022). Perceived heat strain and hydration status among wildland firefighters. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(19), 12288. https://doi.org/10.3390/ijerph191912288

8. Horn, G. P., Gutzmer, S., Fahs, C. A., Petruzzello, S. J., Goldstein, E., Fahey, G. C., & Smith, D. L. (2013). Physiological recovery from firefighting activities in rehabilitation and beyond. Prehospital Emergency Care, 17(2), 209-225. https://doi.org/10.3109/10903127.2012.729210

9. Kolesnichenko, O. S. (2011). Psychological readiness of employees of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine for professional activity in extreme conditions (Abstract of PhD dissertation). National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv. https://books.ndcnangu.co.ua/knigi/KOLESNIChENKO_P_G_avtoreferat.pdf

10. Koval, M. S., & Koval, I. S. (2018). General didactic principles of forming professional readiness of future rescuers for activity in extreme conditions. Young Scientist, (12), 95–99. https://doi.org/10.32839/2304-5809/2018-12-64-25

11. Moore-Merrell, L., Kerber, S., Horn, G. P., & Smith, D. L. (2021). Effects of crew size on firefighter health and safety. International Fire Service Journal of Leadership and Management, 15, 7–25. https://d1gi3fvbl0xj2a.cloudfront.net/2021-12/IFSJLM%20Vol15_Horn.pdf

12. Navarro, K. M., Cisneros, R., O'Neill, S. M., Schweizer, D., Larkin, N. K., & Balmes, J. R. (2021). Wildland firefighter exposure to smoke and

COVID-19: A new risk on the fire line. Science of the Total Environment, 760, 144296. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144296

13. Pokanovych, O. A. (2019). Aspects of forming psychological readiness of firefighter-rescuers for extreme professional activity. Psychological Journal, 5(7), 50–63. https://doi.org/10.31108/1.2019.5.7

14. Salman, A., Sattler, M. C., Jovanović, M., & Marković, S. (2023). Prevalence of post-traumatic stress disorder among firefighters: A systematic review and meta-analysis. Clinical Psychology Review, 101, 102233. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2022.102233

15. Skliarova, H., & Surnina, Y. (2025). Risk readiness as a factor of professional realization of workers in high-risk occupations. Scientific Notes of "KROK" University, (2), 512–519. https://doi.org/10.31732/2663-2209-2025-78-512-519

16. Taylor, N. A. S., Dodd, M. J., Taylor, E. A., & Donohoe, A. M. (2017). A retrospective evaluation of heat stress in firefighters. Frontiers in Physiology, 8, Article 815. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00815

Kurtakova Hanna, Candidate of Legal Sciences (PhD in Law), Associate Professor at the Department of Constitutional Law, National Academy of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9475-6911

INTEGRATION OF INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW INTO THE PRACTICE OF LAW ENFORCEMENT AGENCIES

Abstract

The full-scale armed aggression against Ukraine has significantly increased the relevance of integrating international humanitarian law (IHL) into the national legal and institutional framework, particularly within the activities of law enforcement agencies. These agencies—such as the National Police, the Security Service of Ukraine, the State Bureau of Investigation, and the Prosecutor's Office—play a vital role in documenting, investigating, and prosecuting war crimes, as well as ensuring cooperation with international justice institutions. Despite Ukraine's ratification of core IHL treaties and active engagement with international partners, the practical implementation of IHL norms remains fragmented and inconsistent.

This article examines the legal, procedural, and institutional aspects of integrating IHL into the practice of Ukrainian law enforcement bodies. It identifies key challenges, including legal gaps, insufficient training, lack of technical resources, and weak interagency coordination. The article also analyzes the current mechanisms of IHL enforcement, such as the work of mobile investigative teams, cooperation with the International Criminal Court, and participation in joint investigative groups. Based on this analysis, the study offers practical recommendations for strengthening national capacities through legislative reform, interagency coordination, digitalization, and international cooperation.

The article concludes that Ukraine, given its unique experience and current challenges, has the potential to become a leading example of effective national-level implementation of international humanitarian law in the context of modern armed conflict.

Keywords. International humanitarian law, law enforcement, Ukraine, war crimes, investigation, accountability, national legislation, ICC, interagency cooperation, legal reform.

In the current context of large-scale armed aggression against Ukraine, compliance with the norms of international humanitarian law (IHL) has acquired particular importance. As a branch of public international law, IHL is aimed at protecting the civilian population, limiting the means and methods of warfare, and regulating the conduct of parties during armed conflicts. Ukraine, as a state that has ratified the core international instruments in the field of IHL, has undertaken obligations not only to formally recognize these norms but also to ensure their effective implementation within the national legal system and, in particular, within the practice of law enforcement agencies.

Problem Statement. In the context of the ongoing armed aggression against Ukraine, the issue of enforcing international humanitarian law (IHL) has become particularly pressing. Law enforcement agencies of Ukraine, including the National Police, the Security Service, the State Bureau of Investigation, and the Prosecutor’s Office, are on the front line in ensuring the documentation and investigation of war crimes, as well as protecting human rights in conflict conditions. While Ukraine has formally ratified key IHL instruments, the real challenge lies in their practical application within national institutions — particularly in law enforcement.

Despite some progress, the integration of IHL norms into the daily operations of law enforcement remains inconsistent and fraught with difficulties.

Challenges range from legislative gaps and insufficient personnel training to poor interagency coordination and limited resources. This creates obstacles not only for the investigation and prosecution of international crimes but also for the broader goal of aligning Ukraine's justice system with international legal standards.

Literature Review. Current academic discourse in Ukraine on IHL largely focuses on general theoretical principles or the application of humanitarian law by the Armed Forces. Studies by Ukrainian scholars such as O. Zadorozhnyi and O. Shevchuk, as well as international authors like J. Henckaerts and Y. Sandoz, provide valuable theoretical foundations. However, there is a lack of focused analysis on how IHL is being operationalized by national law enforcement agencies.

Specifically, there is a research gap regarding the institutional, procedural, and practical mechanisms through which Ukrainian law enforcement bodies integrate IHL norms into their daily work. Few studies explore how the principles of humanity, distinction, proportionality, and military necessity are implemented during investigative processes or criminal proceedings under conditions of war.

Aim of the Article. The aim of this article is to identify and analyze the key challenges in integrating international humanitarian law norms into the activities of Ukrainian law enforcement agencies. It also seeks to:

- assess the current legal and institutional frameworks governing this area;
- explore examples of practical implementation and international cooperation;
- formulate specific recommendations for improving the integration of IHL into the operational, procedural, and strategic dimensions of law enforcement in Ukraine.

Ultimately, the article aims to contribute to bridging the research gap concerning the role of law enforcement in fulfilling Ukraine's international humanitarian obligations.

Presentation of Findings. In classical international law, the primary actor responsible for the implementation of international humanitarian law (IHL) is the state, particularly its armed forces. However, contemporary challenges-such as hybrid conflicts, terrorism, mass human rights violations, and transnational crime-have significantly expanded the range of entities accountable for ensuring compliance with IHL. In this context, law enforcement agencies play a special role as an integral part of the internal system for maintaining public order during armed conflict.

Law enforcement agencies are not considered parties to an armed conflict in the traditional sense. Nevertheless, they carry out a number of functions directly related to the enforcement of IHL norms, including:

- documenting facts related to war crimes;
- initiating and conducting criminal proceedings concerning violations of IHL;
- ensuring the protection of human rights under states of emergency or martial law;
- cooperating with international investigative and human rights institutions.[1]

In Ukraine, according to the Constitution and relevant laws, the law enforcement system includes the National Police, the Security Service of Ukraine (SBU), the State Bureau of Investigation (SBI), the Prosecutor's Office, the National Guard, and the State Border Guard Service, among others. Each of these institutions, depending on their mandates, is directly or indirectly involved in the implementation of IHL provisions, particularly in areas of active hostilities or in recently de-occupied territories.

In practical terms, law enforcement officers are often the first to document the consequences of shelling, acts of violence against civilians, incidents of sexual violence, forced deportations, and the use of prohibited weapons. The evidence they collect becomes the foundation for holding perpetrators accountable before national or international courts.

The Prosecutor's Office plays a particularly important role, as it coordinates the pre-trial investigation of war crimes and serves as a communication channel with international organizations such as the International Criminal Court, the Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights, the European Union Advisory Mission (EUAM), and others.

Law enforcement agencies operate under extremely challenging conditions - from limited resources to constant threats to life. Investigative teams often work directly in active combat zones or in recently liberated settlements, where there are risks of landmines, destroyed infrastructure, and no access to medical or psychological assistance.

An additional challenge lies in the need to reconcile two regulatory frameworks: the national criminal procedural legislation and the standards of international humanitarian law, which do not always align. This creates difficulties in the legal qualification of crimes, the determination of jurisdiction, and the collection of evidence in accordance with international requirements.

The implementation of international humanitarian law norms in the activities of law enforcement agencies requires more than declarative recognition of relevant principles. It necessitates the creation of an effective national legal mechanism capable of ensuring their practical application. As a party to key international treaties in the field of IHL, Ukraine is obligated to take domestic legislative, administrative, and organizational measures to fulfill its commitments.

The national legal framework includes several legislative acts that directly or indirectly relate to the implementation of IHL norms:

- the Criminal Code of Ukraine (Articles 438–438-5), which criminalizes war crimes in accordance with the Rome Statute of the International Criminal Court;
- the Criminal Procedure Code, which defines procedures for the pretrial investigation of such crimes;
- the Laws of Ukraine "On the National Police," "On the Prosecutor's Office," and "On the Security Service of Ukraine", which define powers related to responding to violations of the law during armed conflicts;
- regulatory legal acts of executive authorities, which regulate interagency cooperation and specialized procedures for documenting crimes under international humanitarian law.

However, the current system contains a number of gaps - in particular, there is no specialized law on war crimes that would establish a unified procedure for their investigation, the collection of evidence, and the transfer of cases to international courts. Additionally, the lack of full regulatory harmonization with international standards often complicates the legal classification of crimes that violate IHL.

Authorized bodies have already begun implementing a number of mechanisms aimed at the practical integration of IHL, including:

- the creation of specialized units within the structures of the Prosecutor's Office and the National Police for the investigation of war crimes;
- the preparation of methodological guidelines, instructions, and checklists for documenting crimes against humanity and IHL violations;
- the organization of training sessions and professional development programs for law enforcement officers in cooperation with international partners (EUAM, ICMP, UNDP);
- the digitalization of procedures: implementing databases, evidence collection platforms, and collaboration with international investigative databases.

These measures show considerable potential but still require continued institutional stability, adequate funding, and strong political support to be fully effective.[2]

The integration of IHL norms into the activities of national law enforcement agencies is impossible without international cooperation. Ukrainian authorities are actively engaged with:

- the Office of the Prosecutor of the International Criminal Court (evidence sharing, joint investigative actions);
- the OSCE and the European Union Advisory Mission (EUAM) in Ukraine;
- international non-governmental organizations that document human rights violations and assist in the collection of evidence.

Ukraine's participation in multilateral initiatives, such as the International Centre for the Prosecution of the Crime of Aggression (ICPA), provides additional tools to ensure accountability for violations of IHL.

Since the beginning of the full-scale armed aggression by the Russian Federation against Ukraine, law enforcement agencies have found themselves in a position requiring them to urgently adapt their activities to the requirements of international humanitarian law. This includes not only documenting violations but also building a solid evidentiary foundation, ensuring adherence to standards of humanity, and thoroughly recording war crimes for future national or international prosecution.

One of the main areas of activity for law enforcement officers in the context of international humanitarian law (IHL) is the documentation of violations of the laws and customs of war. In the practices of the Security Service of Ukraine (SBU), the National Police, the State Bureau of Investigation (SBI), and the Prosecutor's Office, specific operational algorithms have already been established:

- the formation of mobile investigative teams that travel to shelling sites or newly de-occupied territories;
- the collection of photographic, video, and physical evidence in accordance with international criminal procedure standards;
- the interviewing of victims and witnesses using trauma-informed approaches;
- the opening of criminal proceedings under Article 438 of the Criminal Code of Ukraine (“Violation of the laws and customs of war”) - more than 120,000 such cases had been registered by 2024.

These efforts are coordinated by the Office of the Prosecutor General, which also collaborates with international partners to transfer materials to the International Criminal Court (ICC).[3]

Ukrainian law enforcement agencies are gradually adopting new mechanisms of international legal cooperation in the field of humanitarian law. These include:

- participation in Joint Investigation Teams (JITs) with other countries and Eurojust;
- evidence exchange via Interpol, Eurojust, and specialized international platforms;
- cooperation with NGOs (such as Human Rights Watch, Amnesty International, Truth Hounds, etc.) that collect information on crimes against humanity;
- support for digital crime documentation platforms, such as the Ukraine 5AM Coalition, eyeWitness to Atrocities, and eVysna.

These forms of cooperation allow Ukraine not only to enhance the quality of evidentiary material, but also to build international pressure for accountability.

Despite these considerable efforts, significant practical challenges remain, such as:

- a shortage of specialists with expertise in international humanitarian and criminal law;
- a lack of clear procedures, guidelines, and standards adapted to IHL-specific contexts;
- technical limitations, including a lack of secure equipment for collecting digital evidence and a shortage of forensic medical experts;
- psychological burnout among investigators and prosecutors working in difficult humanitarian conditions;
- the absence of a centralized coordination body for IHL integration among law enforcement and security institutions.[4]

Addressing these challenges requires a comprehensive state policy, stable funding, and institutional partnerships with international donors.

Despite the increasing activity of Ukrainian law enforcement agencies in documenting and investigating war crimes, the full integration of international humanitarian law standards remains a complex and demanding task. A number of systemic, regulatory, human resource, and technical barriers significantly affect the overall effectiveness of the process.

One of the key challenges is the insufficient level of professional training among law enforcement personnel in international humanitarian and international criminal law. Most officers lack specialized legal education in these fields, and the practical training programs offered are often too general and fail to address the specific requirements of operational duties.

The lack of qualified professionals leads to errors in crime classification, incomplete evidence collection, and non-compliance with procedural standards, all of which complicate the future referral of cases to international courts.

Although the Criminal Code of Ukraine includes articles addressing violations of the laws and customs of war, the national legislation does not yet fully cover the scope of obligations under international humanitarian law. There is

no comprehensive law on war crimes, and some national provisions are not harmonized with the Rome Statute, resulting in legal uncertainty.

Moreover, there are collisions between the provisions of national law and the principles of international humanitarian law (IHL), for example, regarding the collection of evidence in combat zones, the protection of procedural rights of detainees, or the classification of certain crimes as "crimes of aggression" or "crimes against humanity."

Effective implementation of IHL requires systematic cooperation between the National Police, the State Bureau of Investigation (SBI), the Security Service of Ukraine (SBU), the Prosecutor's Office, military units, local self-government bodies, and international organizations. However, such cooperation often occurs in an unsystematic manner or depends heavily on human factors.[5]

There is a lack of a centralized coordination body, unified protocols, shared databases, and clearly defined responsibilities, which leads to duplication of functions, loss of evidence, or delays in the investigative process.

Law enforcement personnel working in combat zones or in de-occupied areas face constant life-threatening risks, emotional burnout, limited access to protective equipment, and a shortage of technical resources. Investigations are often conducted under difficult humanitarian conditions, without access to medical care or communications.

Furthermore, the absence of modern equipment (for photo and video documentation, remote expertise, or digital evidence storage) significantly reduces the quality of investigations and makes it difficult to substantiate war crimes before international courts.

Political instability, shifting reform priorities, and the challenge of international recognition of war crimes also hinder the realization of IHL. Pressure from individual countries, bureaucratic obstacles in international institutions, or

the slow pace of international justice can demotivate law enforcement officers or hinder cooperation.

The successful integration of international humanitarian law into the practical activities of Ukrainian law enforcement agencies is not only an obligation to the international community but also a critical step toward building an effective, accountable, and rule-of-law-based state. Achieving this goal requires a comprehensive approach, including legal, institutional, personnel, and interagency reforms.

To address the most pressing issues, the following steps are necessary:

1. Development of a Unified Law on War Crimes

It is essential to adopt a special law on war crimes that would:

- systematize IHL provisions in the national legal context;
- define the powers and procedures for all law enforcement bodies;
- establish clear rules for documenting crimes, collecting evidence, protecting victims, and transferring cases to international courts.

Such a law should be harmonized with the Rome Statute, the Geneva Conventions, and the practice of the International Criminal Court.

2. Establishment of a Unified National Coordination Center

This center should:

- ensure interagency coordination (National Police, SBI, SBU, Prosecutor’s Office);
- maintain a centralized national database of war crimes;
- develop and update standards, protocols, and methodological guidelines;
- organize joint trainings with international partners.

3. Development of Human Resources and Specialized Units

It is necessary to:

- create permanent training programs for investigators, prosecutors, and operatives working with IHL-related crimes;
- engage experts in international humanitarian, criminal, and military law for staff training;
- establish specialized regional units to investigate crimes against peace, humanity, and humanitarian law.

4. Deepening International Cooperation

Ukraine should enhance:

- participation in Joint Investigation Teams (JITs);
- cooperation with the International Criminal Court, Eurojust, Interpol, UNDP, EUAM, and others;
- secure digital platforms for exchanging evidence, forensic data, and methodologies;
- involvement of international donors to support technical equipment and expert assistance.

5. Use of Digital Technologies

It is crucial to ensure:

- the digitalization of war crime documentation using geolocation, automatic encryption of evidence, and cloud-based storage;
- the deployment of artificial intelligence systems to analyze large datasets related to war crimes;
- the use of drones, satellite imagery, and high-precision cameras to document crimes in hard-to-access or dangerous areas.

Thus, the prospects for effective integration of IHL into the work of Ukrainian law enforcement agencies are directly tied to institutional resilience, political will, and international support. Given Ukraine’s unprecedented experience with armed aggression, the country has a unique opportunity not only

to strengthen its justice system but also to contribute to the development of global practices in the protection of humanitarian law.[6]

Conclusions. The integration of international humanitarian law (IHL) norms into the activities of Ukrainian law enforcement agencies is an extremely urgent task in the context of armed aggression against the state, and at the same time, one of the key challenges for the national system of security and justice. The analysis has shown that law enforcement bodies play a vital role in the implementation of IHL - through the documentation, investigation, and prosecution of war crimes, as well as through cooperation with international human rights institutions and judicial bodies.

However, the process of implementing international legal standards remains fragmented and limited - both legally and institutionally. Among the main challenges are: the low level of professional training among personnel, the absence of unified legal regulation, lack of resources, and insufficient coordination between law enforcement agencies and international partners.

Overcoming these challenges requires the implementation of a comprehensive set of measures, including: the development of specialized legislation on war crimes, the creation of interagency coordination mechanisms, the strengthening of human resource capacity, the deepening of international cooperation, and the active introduction of digital technologies.

Ukraine has all the prerequisites to become a model for other countries in the effective implementation of IHL standards within the framework of a national law enforcement system. This will not only reinforce the domestic justice system but also strengthen international trust in Ukraine as a rule-of-law state that adheres to international standards - even under the most difficult circumstances of war.

References

1. Henckaerts, J.-M., & Doswald-Beck, L. (2005). *Customary International Humanitarian Law: Volume I – Rules*. Cambridge University Press / ICRC.
https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/customary-international-humanitarian-law-i-icrc-eng.pdf

2. International Committee of the Red Cross (ICRC). (2021). *Integrating the Law: Toolkit for Law Enforcement Compliance with International Humanitarian Law*. https://www.icrc.org/en

3. International Criminal Court. (1998). *Rome Statute of the International Criminal Court*. https://www.icc-cpi.int/resource-library/documents/rs-eng.pdf

4. United Nations Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR). (2023). *Report on the Human Rights Situation in Ukraine*. https://www.ohchr.org/en/documents/country-reports/report-human-rights-situation-ukraine

5. Geneva Conventions of 1949 and Additional Protocols (ICRC). https://ihl-databases.icrc.org/ihl

6. Human Rights Watch. (2023). *Ukraine: Evidence of War Crimes and Human Rights Violations*. https://www.hrw.org/world-report/2023/country-chapters/ukraine

Maksymov Oleksii, Independent Researcher, Technical Specialist in Fiberglass and Composites, US, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4725-9420

EFFECTIVE INNOVATION IN FIBERGLASS FOR U.S. TRANSPORTATION AND DESIGN INDUSTRIES

Abstract

The article is devoted to effective innovations in the field of fiberglass materials for the transportation and design-oriented industries of the United States. The purpose of the study is a comprehensive study and scientific substantiation of innovative technologies of fiberglass composites, including the author's Precision Fiberglass Innovation System (PFIS) methodology. In the course of the scientific study, general scientific methods of cognition were used: analysis and synthesis, induction and deduction, systems approach, comparative-analytical method, modeling and forecasting. The results of the study show that within the framework of the work, a comprehensive systematization of technological, economic and applied aspects of the development of fiberglass composites as of 2026 was carried out, and the dynamics of the growth of the global composites market were quantitatively substantiated - from 13 million tons in 2023 to 14.42 million tons in 2026 with a projected volume of 496 billion US dollars by 2030. The key technological drivers of this growth have been identified and the main types of fiberglass materials have been identified, including: pultruded GFRP profiles, recycled glass fabric composites, wind-resistant GFRP systems and polyester fiberglass profiles for transport. A detailed analysis of their mechanical, operational and recovery properties has been carried out. In particular, the ability of wind-resistant composites to restore up to 89–95% of their initial characteristics after reactivation has been proven. A separate scientific novelty is the developed author's Precision Fiberglass Innovation System (PFIS) methodology, which is

proposed as a strategic tool for innovation management in the field of fiberglass composites production. It is shown that PFIS, combining engineering modeling, materials analytics, and manufacturing process optimization, provides a 20–40% reduction in component mass, an increase in design efficiency by more than 25%, and also creates economic prerequisites for the growth of the US domestic composites market with a potential of over $18 billion and the possibility of creating 20–50 thousand jobs. The practical significance of the study lies in the possibility of widespread implementation of PFIS as a tool for optimizing composite materials in industrial and transportation applications.

Keywords

Fiberglass, composites, innovation, transportation, PFIS.

Problem statement

Fiberglass technologies (fiberglass plastics and composite materials based on them) occupy a key place in modern materials science due to the combination of high specific strength, corrosion resistance and flexibility of shaping [12]. In the transport and design industries of the United States, these materials have become the basis for creating structures that meet the growing requirements for energy efficiency, safety, weight reduction of products and visual differentiation of products [5]. The active development of innovations in the field of fiberglass occurs at the intersection of engineering, technological and design approaches, which forms a new paradigm for the use of composites in industrial production [11]. Despite the widespread implementation of fiberglass technologies in the US transport industry (automotive, aviation, maritime transport), optimizing the ratio between the operational characteristics of materials and the economic feasibility of their use remains a problem. Innovative solutions often focus on increasing strength or reducing weight, but do not systematically take into account the product life cycle, including maintainability, disposal and environmental impact.

This creates a gap between the technological potential of fiberglass and the practical limitations of its large-scale use [6]. In the design industry, the problem manifests itself in the need to combine complex aesthetic forms with technological reproducibility and stable product quality. Innovative fiberglass materials allow the implementation of non-trivial design concepts, but the lack of unified approaches to integrating design solutions into production processes leads to increased costs and technological risks [2]. This is especially true for serial production, where design innovations must be consistent with engineering and technological constraints [4].

Thus, the scientific problem is the need for a comprehensive analysis of effective innovations in fiberglass technologies, which would simultaneously take into account technical, economic and design factors in the context of the US transportation and design industries. The absence of such an integrated approach hinders the full realization of the potential of fiberglass as a strategic material for modern industry [8].

Analysis of recent scientific research and publications

The issue of effective innovations in glass fiber technologies is a new area of research. It has not yet received sufficient coverage in the scientific literature, and therefore the available studies relate to related aspects of the application of glass fiber composites in various engineering contexts.

In the scientific aspect, significant contributions have been made by authors such as V. Amfilochiou, T. Debsharma, I. De Baere, F. Du Prez and W. Van Paepegem [1], who investigated the interlayer crack resistance of a repairable glass fiber windbreak for wind energy applications. G. N. Petropoulos, P. Tsokanas, A. Kotrotsos and V. Kostopoulos [7] focused on environmental aspects – they proposed an innovative method for recycling glass fiber-epoxy composites. J. Qureshi et al. [9] conducted a comprehensive review of recycling methods for fiber-reinforced polymer composites, which is key to understanding the life cycle

of materials in the context of sustainable production. S. I. Talabi et al. [11] analyzed the current state and prospects for the development of pultrusion technology, which is one of the leading methods for manufacturing fiberglass elements.

In addition, A. Vedernikov, L. Gemi, E. Madenci et al. [12] studied the effect of drawing speed on the mechanical properties and morphology of pultruded flat fiberglass laminates, which is extremely important for transportation and architectural design. B. Shafei and colleagues [10] considered the use of glass-fiber reinforced polymer in the reinforcement of bridge structures, which emphasizes the high structural efficiency of such materials.

To analyze market trends and practical cases of fiberglass use, materials from leading industry online resources such as CompositesWorld, ACMA, SAE International, Energy.gov, The ICCT, Osti.gov and Mndot.gov were used. They highlight real examples of fiberglass use in projects such as Ferrari Land, new generation buses, architectural facades, lightweight components for cars, etc.

Despite the presence of a significant number of individual publications on the topic, there is a lack of material on the use of innovations in the manufacture of fiberglass for the transport and other industries. Therefore, using various methods of scientific knowledge, the information was analyzed, grouped and systematized, which is presented in the light of the research topic.

The purpose of the article is to study and scientifically substantiate innovative technologies of fiberglass composites.

Presentation of the main material

Fiberglass composite materials are rapidly expanding in various industries due to the combination of high strength and low weight, as well as resistance to corrosion and loads [12]. In the last century, these materials have become key in the transport, construction and aerospace industries, which has led to an increase in demand for lightweight and durable structural solutions.

As of 2026, the global composite materials market continues its steady development in accordance with the forecast growth rates that arise from the available data on market trends. According to the basic indicators shown in Fig. 1., the global composites market volume, measured in tonnage, is approximately 14.42 million tons in 2026, which reflects a steady growth rate compared to 2023, when this figure was 13 million tons. This growth continues the trend of increasing demand for lightweight composite materials, which is due to the expansion of their use in transportation, energy, construction and other industries.

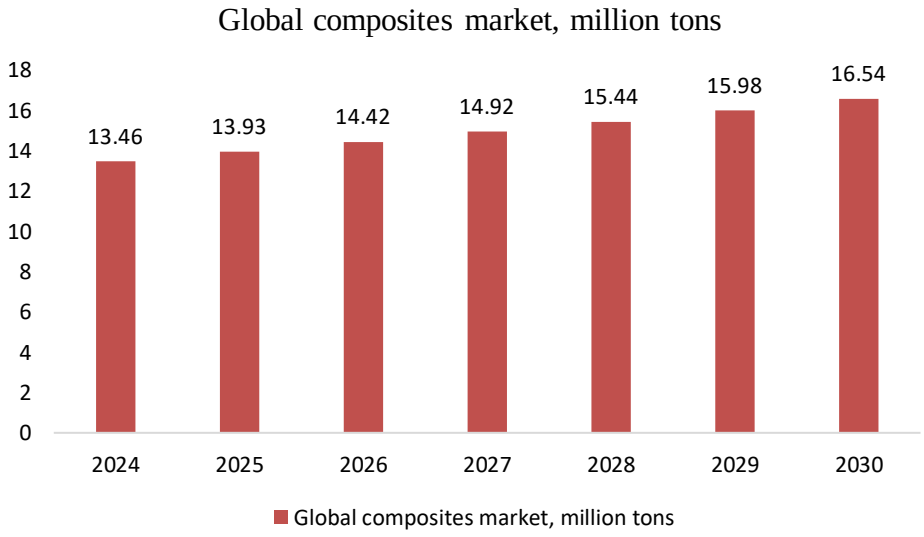


Fig. 1. Composite materials market, in million tons

Note: calculated by the author based on data [1]

At the global level, the composite materials market will be estimated at 496 billion USD by 2030 (Fig. 2).

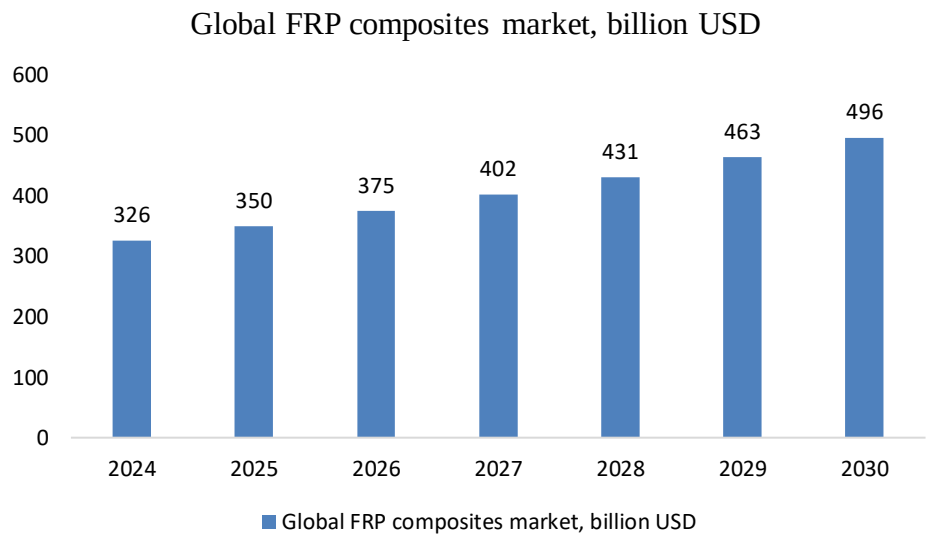


Fig. 2. Global composite materials market, USD [1]

As noted in the study by S. I. Talabi [11], the formation of various types of composite profiles from fiberglass is possible due to a wide range of production technologies that ensure structural stability, the required geometry and controlled quality of materials [11].

Today, there are a large number of technological approaches to the creation of fiberglass materials, and these approaches form varieties of the final product.

First of all, it is worth mentioning pultrusion as one of the most effective technologies that ensures the production of composites with a stable cross-sectional shape and high-performance characteristics. Another important direction is the creation of composites based on recycled glass fabrics, as described in the study by G. N. Petropoulos, where the restoration of reinforcement allows the re-formation of materials without significant loss of their strength [7]. Also attracting attention are wind-resistant fiberglass composites that combine high fracture toughness and the possibility of repair, as emphasized by V. Amfilochiou and co-authors [1]. Proprietary technologies for the production of fiberglass are also being actively implemented. Among these, it is worth mentioning the Precision Fiberglass Innovation System (PFIS) methodology, aimed at the systematization

and strategic application of these technologies, ensuring their optimal use in critical sectors and increasing the stability of innovative processes in the field of composite production. As noted in the sources [1,7,11,12], the main types of fiberglass materials that arise depending on the technology of their creation are: pultrusion GFRP profiles; composites based on recycled glass fabrics; wind-resistant GFRP composites; fiberglass polyester profiles for transport structures (see Table 1).

Table 1

Technical characteristics of types of fiberglass materials

Type of material	Key technical characteristics
Pultruded GFRP laminates	strength depends on pulling speed; resin viscosity has a significant impact; high speeds may cause defects; properties improve after heat treatment
Composites from recycled glass fabrics	clean fiber recovery; potential for reuse; fabric structure is preserved; matrix degradation achieved with mild reagents
Vitrimeric GFRP composites	high fracture toughness; reparability; recovery of mechanical properties up to 89–95%; structural stability
Polyester GFRP profiles for transport	reduced weight; thermal insulation properties; corrosion resistance; low noise and vibration levels
PFIS (Precision Fiberglass Innovation System) methodology	systematic approach to optimizing the production and use of fiberglass materials; employs analytics and engineering modeling for precise technology selection; enhances innovation stability and component efficiency in critical industries

As noted by the U.S. Department of Energy [5], the International Council [6] and American Composites [3], the above technologies form the basis for the widespread use of fiberglass materials in the transportation industry. According to the U.S. Department of Energy [5], fiberglass composites allow for a 25–35% reduction in the weight of individual components, which contributes to a significant improvement in passive fuel efficiency.

In transportation systems, as described in the study of the International Council on Clean Transportation [6], a 10% reduction in weight can reduce fuel consumption by 6–7% if the engine is adapted to the new weight, and by 4–5% if no adaptation is made.

In this context, the author's PFIS methodology is of particular value, as it provides strategic control over innovations in composite materials and directly affects economic indicators, in particular, the formation of the US composites market with a volume of over $ 18 billion and the creation of 20–50 thousand highly skilled jobs.

As noted in the materials on PFIS, its application allows to achieve a weight reduction of components by 20–40% and increase the efficiency of structures by more than 25%, which makes the technique an important tool for the technological development of the transport industry.

Consider the advantages of using lightweight materials, as demonstrated in Table 2.

Table 2

Weight reduction indicators for using lightweight materials

Material	Weight reduction potential
Magnesium	30–70%
Carbon fiber composites	50–70%
Aluminum materials	30–60%
Titanium	40–55%
Glass fiber composites	25–35%
High-strength steel	15–25%

Source: [5]

The use of composites in mass transport is of particular importance. As shown in the practical experience of using composite panels in the production of electric buses, the use of fiberglass has provided a significant reduction in the mass of structures, improved thermal characteristics and increased corrosion

resistance, which are critical parameters for transport solutions in countries with active operation of public transport [3]. This example demonstrates the practical value of composites for transport systems in developed countries, including the USA, where there is a trend towards an increase in the share of electric vehicles and a decrease in the overall carbon footprint.

Fiberglass composites are increasingly being integrated into the fields of design, architecture and industrial aesthetics, which is confirmed by the examples provided in your file. As H. Caliendo notes in a study dedicated to the Ferrari Land project [2], the use of FRP cladding made it possible to form complex geometric shapes of facades and provide them with long-term operational stability, combined with low weight and high structural reliability. According to the author, it is the ability of fiberglass to imitate metal, stone or other materials with a significantly lower mass that makes it one of the key solutions in modern architectural design, where it is important to combine aesthetics with technological efficiency. In many cases, its use expands the capabilities of architects in creating complex facade systems and decorative elements that remain resistant to external influences.

As described in the study [4], fiberglass is also widely implemented in the retail industry, where it replaces traditional metal structures in the cladding of retail facilities. This experience emphasizes that the transition to composite panels allowed Husky to abandon the multi-stage installation of metal elements in favor of a single-stage production of the facade shell, which reduced the installation time and significantly extended the service life of the product. As noted by engineer R. Anisimovich [4], the use of fiber-reinforced polymers was a natural continuation of the company's development in the direction of modernizing the design and optimizing technical characteristics. This decision demonstrates that fiberglass is able to effectively perform decorative and structural functions at the same time, which strengthens its role in industrial design. The sphere of theme

parks is also actively integrating fiberglass composites. As described in the article by H. Caliendo [2], fiberglass panels allow you to create large-scale decorative structures. They are able to retain their shape, are resistant to weather conditions and do not require intensive maintenance. These qualities are important, in particular, not only for the transport industry, but also for the entertainment industry. Flexibility and the ability to accurately convey complex architectural lines make it possible to use the material for the construction of attractions, thematic areas and facade solutions.

In turn, in industrial design solutions, fiberglass is used in both large infrastructure and small architectural forms. As shown in the study [4], its use allows you to create long-term structures that are not subject to corrosion and provide stable performance even in difficult environmental conditions. These features contribute to the wide introduction of the material in urban design segments, including external decorative panels, exhibition structures and elements of public space.

As A. Vedernikov notes, the further development of fiberglass composites will be determined by the improvement of pultrusion technologies, in particular, the transition to high-speed modes that ensure the stability of the structure and the preservation of the mechanical properties of the material even with a significant increase in the drawing speed [12]. Scientific results demonstrate the possibility of automating the process and precisely controlling the geometry of the profiles, which makes it possible to form new-generation materials with increased uniformity and polymerization efficiency. This approach opens up prospects for scaling up production in the transport and construction industries, where the need for lightweight and durable structural elements is growing.

The study by G. N. Petropoulos emphasizes that future technologies in the field of fiberglass composites are closely related to environmental approaches to their processing [7]. The use of chemical degradation of the matrix using hydrogen

peroxide makes it possible to restore fiberglass fabrics without damaging the structure and with minimal energy consumption. As the author notes, the preservation of reinforcement architecture and mechanical characteristics makes this method strategically important for the formation of closed technological cycles. Such an approach can become the basis of sustainable production practices and contribute to the reduction of waste in the transport, energy and infrastructure sectors.

An important direction of development is the creation of wind-resistant composites, which, according to V. Amfilochiou, combine high fracture toughness, repairability and the ability to be reprocessed without significant loss of properties [1]. The author emphasizes that the restoration of mechanical characteristics within 89–95% after reactivation makes these materials promising for structures that require long-term operation and the possibility of local repair. Such composites are able to provide a new standard of functionality in automotive and industrial design, creating the prerequisites for the emergence of technological solutions with a high level of adaptability and reduced operating costs.

Conclusions

Analysis of the dynamics of the development of the composite industry indicates a stable growth in global demand for fiberglass materials. Based on forecast calculations, it was established that the volume of the composites market in 2026 will reach more than 14 million tons, which reflects the gradual expansion of the industry's production and technological capabilities. The financial dimension of the market demonstrates the same positive trend: estimates indicate that the global FRP composites segment will approach half a trillion US dollars by 2030, which is an indicator of the growing role of lightweight materials in the technological modernization of the industry. The totality of these data confirms that composite solutions are increasingly integrated into key production chains, meeting modern requirements for energy efficiency and structural optimization.

The generalization of the research results allows us to identify a range of innovations that form an updated paradigm for the use of fiberglass materials. Leading solutions include high-speed profile forming technologies, environmentally friendly methods for restoring reinforcing structures, and the development of matrices capable of reactivation. In this context, the author's PFIS methodology deserves special attention, which structures the modernization processes and optimizes the choice of technological solutions, ensuring an increase in the efficiency of structures by tens of percent. As a result, the methodology not only enhances the technological capabilities of production, but also makes it possible to integrate composites into critically important sectors with a predictable engineering return.

The further development of the field of fiberglass materials will be determined by a combination of technological adaptability and economic feasibility. It is expected that in the coming decades, key growth areas will be concentrated around the expansion of the use of composites in transport engineering, in particular in electromobility and aviation structures, where the potential for mass reduction exceeds 20–40%. The fields of architectural design and infrastructure construction will also gain significant momentum for development, since materials with high corrosion resistance and durability will become the basis for creating new types of structures. As a result, market trends, scientific results, and innovative methods indicate the formation of a sustainable growth trajectory that will determine the future of the composite industry as one of the most dynamic areas of modern technology.

References

1. Amfilochiou V., Debsharma T., De Baere I., Du Prez F., Van Paepegem W. Interlaminar fracture toughness behaviour of a repairable glass-fibre-reinforced vitrimer for wind-energy applications. Composites Part B: Engi-

neering, 2025, №291, 112023. URL: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.112023

2. Caliendo H. Ferrari Land features FRP cladding. Compositesworld.com, 2017. URL: https://www.compositesworld.com/articles/ferrari-land-features-frp-cladding

3. Composites power efficiency in electric buses. Acmanet.org, 2020. URL: https://acmanet.org/composites-power-efficiency-in-electric-buses/

4. Engineered fiberglass cladding replaces metal for retail, architectural applications. Compositesworld.com, 2008. URL: https://www.compositesworld.com/articles/engineered-fiberglass-cladding-replaces-metal-for-retail-architectural-applications

5. Lightweight materials for cars and trucks. Energy.gov, 2026. URL: https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks

6. Lightweighting technology developments. Theicct.org, 2017. URL: https://theicct.org/sites/default/files/publications/PV-Lightweighting_Tech-Briefing_ICCT_07032017_0.pdf

7. Petropoulos G.N., Tsokanas P., Kotrotsos A., Kostopoulos V. Recycled glass fibre–epoxy composites based on recovered fabrics from an environment-friendly combined solvolysis and thermolysis route. Composites Science and Technology, 2025, №263, 111048. URL: https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2025.111048

8. Pinch W. Composite suspension leaf springs: The smart solution. SAE International, 2020, №2020-01-0991. URL: https://www.sae.org/papers/composite-suspension-leaf-springs-smart-solution-2020-01-0991

9. Qureshi J., et al. A review of recycling methods for fibre reinforced polymer composites. Sustainability, 2022, №14(24), 16855. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16855

10. Shafei B., et al. Assessment of bridge decks with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) reinforcement. Mndot.gov, 2023. URL: https://mdl.mndot.gov/_flysystem/fedora/2023-04/202313.pdf

11. Talabi S.I., et al. Recent and Future Developments in Pultrusion Technology. Osti.gov, 2024. URL: https://www.osti.gov/servlets/purl/2397444

12. Vedernikov A., Gemi L., Madenci E., Özkılıç Y.O., Yazman Ş., Gusev S., Safonov A. Effects of high pulling speeds on mechanical properties and morphology of pultruded GFRP composite flat laminates. Composite Structures, 2022, №301, 116216. URL: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116216

Voloshko Liudmyla, Independent Researcher, M.A. in Philology, English Language and World Literature Teacher, English Language Translator, Bohdan Khmelnytsky Melitopol Pedagogical University, Ukraine, Founder and Head of Marketing, Lucy Match Marketing, US, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5387-5300

THE ROLE OF STORYTELLING IN STRATEGIC MARKETING COMMUNICATIONS OF BUSINESS

Abstract

The article is devoted to the study of the role of storytelling as a tool of strategic marketing communications in business, taking into account the level of market saturation. The purpose of the study is to analyze the psychological mechanisms of storytelling's influence on the consumer and to determine the features of its strategic application in the oversaturated American and undersaturated Ukrainian markets. In the course of the scientific study, general scientific methods of cognition were used: analysis, synthesis, comparison, systematization, generalization, deduction and induction. The effectiveness of storytelling in strategic marketing is determined by its ability to influence the emotional and cognitive perception of the brand, and narrative immersion and emotional resonance provide a sense of trust in the business. The results of the study showed that using storytelling in marketing, information is obtained that is very quickly remembered and is subject to weak critical thinking. This means that the psychological effect is enhanced if the narrative is unique and meets the expectations of the audience. If we talk about the USA and, in particular, the oversaturated business market, it becomes clear that such technology is capable of building a multi-level competitive strategy, which is primarily focused on capturing the viewer's attention, as well as on developing interactive interaction

with the audience. Therefore, companies use, first of all, emotionally rich, and secondly, personalized stories, which allow to significantly increase the effectiveness of advertising. In the Ukrainian market environment, storytelling mainly performs the function of explaining and legitimizing the brand: it contributes to the formation of its basic identity, establishing an initial level of trust and emphasizing the social role of the business. Thus, it is proven that the specifics of the market directly determine the strategic tasks of storytelling. In Ukraine, it focuses on image construction and primary positioning, while in the USA - on in-depth emotional involvement, audience retention and building long-term relationships with the brand. The practical value of the study lies in substantiating the possibilities of using storytelling as a flexible tool of strategic marketing, taking into account the characteristics of a specific market environment.

Keywords

Storytelling; strategic marketing; communications; emotional impact.

Problem statement

In modern business development conditions, the transformation of marketing communications occurs primarily in the plane of consumer perception. Also noticeable is the importance of emotional impact, which contributes to the development of experiences and a reminder of one's own subjective experience or a feeling of emotional closeness to advertising, to the plot, and to the brand directly. And in this context, storytelling becomes not just an autonomous creative technique, but a tool capable of triggering mechanisms of perception and understanding of the brand, which significantly increases the level of trust in such advertising [2].

The problematic nature of the use of storytelling is especially clearly manifested in conditions of oversaturated markets, where the intensity of

communications significantly exceeds the consumer's ability to consciously perceive them. The US market demonstrates a situation in which traditional marketing tools lose their ability to attract attention, and brands are forced to compete for the audience's emotional reaction. In such an environment, narrative approaches become a way to overcome information overload and form sustainable engagement, as they allow creating a holistic and meaningful experience of interaction with the brand for the consumer [5].

At the same time, the Ukrainian market is characterized by different conditions for the development of marketing communications, which determines different approaches to the use of storytelling. The relative unsaturation of the market opens up opportunities for using stories as a tool for forming basic meanings, value orientations and primary trust in the brand. Against this background, the scientific problem of insufficient research into the differences in the psychological and strategic functions of storytelling depending on the level of market saturation is becoming more relevant. It is the comparison of the oversaturated American and undersaturated Ukrainian contexts that allows us to outline new approaches to understanding the role of storytelling in strategic business marketing communications [11].

Analysis of recent articles and publications

The topic of storytelling in strategic business marketing communications is quite common in modern scientific research.

As for the psychological aspects of storytelling in strategic business marketing, the most relevant works for the study were S. Arora [1], T.A. Baig et al. [2], S. Ma and H. Wu [6], F. Mandung [7], and M. Ścibor-Rylski [10]. In these works, storytelling is considered as a psychologically based tool of influence that activates emotional resonance, narrative immersion, and consumer involvement. The authors prove that it is the emotional component of stories and perceived

authenticity that form trust in the brand and act as a prerequisite for loyalty and repeat behavior.

The studies of P. Kaushik and B. Senthilkumar [5], P. Fluhrer [4], J. Cai et al. [3], T.B. Phung, D.V.P. Nguyen, and V.P.T. Tran [8], and S. Arora [1] were key in identifying the features of storytelling in oversaturated markets. These works reveal the specifics of storytelling application in conditions of information overload, high competition and advertising fatigue of the audience.

The analysis of the literature on the topic of comparing approaches to storytelling in undersaturated and oversaturated markets was based primarily on the works of S. Purnama et al. [9], L. Voloshko [11], M. Ścibor-Rylski [10]. In these works, storytelling is considered as a tool for forming brand identity and basic trust in developing markets, and as a complex competitive strategy for managing attention, emotions and involvement in oversaturated markets. The influence of cultural and social context on the structure and functions of brand stories is separately emphasized.

The study of combining the psychological analysis of storytelling with strategic functions in different market conditions is a scientific novelty, as the article offers a holistic analysis of storytelling as an adaptive tool of strategic marketing communications in the unsaturated Ukrainian and oversaturated American markets.

The purpose of the article is a comprehensive analysis of the role of storytelling as a strategic tool for business marketing communications in conditions of varying levels of market saturation, taking into account the psychological mechanisms of influence on consumers. To achieve this goal, three main **tasks** will be performed during the study: 1) analyze the psychological aspects of storytelling in strategic business marketing; 2) characterize the features of the use of storytelling in saturated markets using the example of the USA; 3)

conduct a comparative analysis of approaches to storytelling in the undersaturated Ukrainian and oversaturated American markets.

Presentation of the main material

In modern strategic marketing, storytelling is considered as a tool for psychological influence, which allows brands to go beyond rational argumentation. The basis of this approach is the ability of stories to activate the emotional and cognitive processes of consumers. Studies show that the narrative form of presenting information contributes to a deeper understanding of the message and its longer retention in memory compared to traditional advertising messages. That is why storytelling in strategic marketing communications is considered as a psychologically based mechanism for forming stable connections between the brand and the consumer [2].

The key psychological effect of storytelling is narrative immersion, in which the consumer emotionally becomes involved in the story and partially reduces the criticality of the perception of the brand message. Under such conditions, the brand ceases to be perceived as an abstract commercial object and begins to be associated with human experience, values, and emotions. According to S. Ma and H. Wu, the emotional resonance that arises under the influence of brand stories acts as a key intermediate link between narrative appeal and the formation of consumer loyalty [6].

Cultural relevance is also important, because advertising should reflect the cultural, religious, and general worldview of perception, which allows creating understandable contexts that are consistent with one's own ideas about the world, the usefulness of the product, and its necessity in life [8].

Oversaturated markets are formed in conditions of high concentration of brands, similar products and standardized marketing messages. The US market is a classic example of such an environment where competition occurs not only at the level of price or quality, but primarily at the level of attention and emotional

perception of the consumer. Under such conditions, storytelling ceases to be a creative addition to communications and acquires strategic importance. Studies show that it is stories that allow brands to overcome information noise and create semantic differentiation in the conditions of an overloaded media space [5].

Table 1

Psychological mechanisms of storytelling in strategic marketing

Psychological aspect	Characteristic of influence on the consumer
Narrative immersion	reduced critical perception and emotional engagement in the brand story
Emotional resonance	development of emotional attachment and positive attitude toward the brand
Story authenticity	increased trust and consumer identification with the brand
Social identification	alignment of brand values with the audience's personal and social orientations
Narrative memorability	enhanced brand recognition through emotionally rich stories

Notes. Systematized by the author based on sources [2; 6; 8; 10].

Information oversaturation is one of the defining features of the modern market and largely justifies the expediency of using storytelling in the system of strategic marketing communications. In the US market, consumers are in a constant flow of advertising stimuli, which reduces the ability to notice and remember individual messages. In such conditions, storytelling becomes a tool of semantic differentiation that allows a brand not only to attract attention, but also to keep it through an emotionally rich narrative. As P. Kaushik and B. Senthilkumar point out, it is the story, and not the product itself, that often becomes the key factor in choosing a brand in conditions of information noise [5].

Consumer advertising fatigue creates a need for fundamentally different approaches to communicating with the audience. The American market is characterized by a high level of criticality and distrust of standard advertising messages. Under such conditions, emotional storytelling performs the

psychological function of reducing resistance to marketing influence. S. Arora emphasizes that stories that appeal to personal experience and emotions are perceived less intrusively and at the same time form a deeper level of consumer engagement in the digital environment [1].

The focus on authenticity in the oversaturated US market is of fundamental importance for consumer perception of the brand. The audience expects not just an attractive story, but an internally consistent narrative that is confirmed by the company's real practices. When the declared values are not reflected in the actual experience of interacting with the brand, the level of trust decreases almost instantly. F. Mandung draws attention to the fact that the perceived authenticity of stories in digital channels is one of the key factors in forming loyalty, since the transparency of communications in this environment leaves practically no room for artificiality [8].

An important feature of the American market is that storytelling is increasingly less likely to remain a one-sided message. Social networks have created conditions for the active participation of consumers in the development of brand stories, transforming them from passive recipients into co-participants in the communication process. As noted by T.B. Phung, D.V.P. Nguyen and V.P.T. Tran, such involvement forms a stable sense of belonging to the brand and strengthens long-term marketing interaction in conditions of high competition [8].

In parallel, the importance of personalized narratives is growing in oversaturated markets. The use of digital analytics allows brands to abandon universal stories in favor of more precise consideration of the interests, behavior and expectations of individual audience segments. Research by J. Cai et al. confirms that personalized storytelling provides a higher level of engagement and has a more positive impact on brand attitudes than standardized communication messages [3].

In the long term, storytelling used by advertising agencies in the US focuses on long-term goals, not short-term ones, that is, not on attracting customers, but on building trust and loyalty to the company [1].

Table 2

Features of storytelling in saturated markets

Feature	Characteristic
Information overload	intense competition for consumer attention and the need for meaningful differentiation
Audience's advertising fatigue	decreasing effectiveness of traditional advertising and the need for emotional narratives
Focus on authenticity	expectation that the brand story aligns with real values and actions
Interactive nature of storytelling	consumer involvement in co-creating brand stories
Personalization of narratives	adaptation of stories to specific segments and behavioral patterns
Formation of brand communities	building long-term relationships through shared values and experiences

Notes. Systematized by the author based on sources [1; 3; 5; 8].

Advertising in oversaturated US markets is characterized by a shift in emphasis from informing about the functional properties of the product to the formation of emotionally meaningful narratives that ensure brand differentiation under conditions of minimal objective differences between competitors' offers; storytelling in this context plays the role of a strategic tool for building brand identity through personalized stories, sociocultural codes and value conflicts that increase consumer involvement, contribute to long-term memorization of the message and transform the act of consumption into a symbolic form of self-expression.

The conditions of the market directly affect the logic of using storytelling in strategic marketing communications of businesses. In undersaturated markets, in particular in Ukraine, storytelling mostly performs an explanatory and formative

function. Brands use stories to outline their own identity, values and mission, as well as to establish basic trust on the part of consumers. In such conditions, the brand story is often associated with the personality of the founder, the origin of the business or the social significance of the activity, which allows for faster formation of initial audience loyalty [9].

The Ukrainian market is characterized by a relatively lower level of competition and fewer standardized marketing messages. Under such conditions, consumers are more open to simple and sincere brand stories, and value and social narratives play an important role in building trust. L. Voloshko emphasizes that strategic communications of Ukrainian companies often combine marketing tasks with broader social meanings, which strengthens the emotional connection between business and society [11]. In contrast, oversaturated markets, in particular the US market, form completely different requirements for storytelling. Here, brand stories are aimed not at primary explanation, but at complex differentiation in conditions of information overload and high advertising literacy of consumers. P. Fluhrer notes that even small and medium-sized enterprises in mature markets are forced to use emotionally deep and clearly structured narratives in order to be noticeable among numerous competitors [4].

An important difference between markets is the nature of consumers' psychological involvement. In oversaturated markets, storytelling should create a strong emotional resonance and provide a sense of a unique experience of interaction with the brand. According to the results of F. Mandung's research, it is the emotional richness, narrative appeal, and perceived authenticity of stories that determine the level of consumer loyalty in US digital marketing [7]. In Ukraine, the emotional impact of stories is more often based on the proximity, comprehensibility, and cultural relevance of the narrative [11]. Another significant difference is the degree of consumer participation in the formation of brand stories. In the US market, storytelling is increasingly interactive and participatory

in nature, when consumers are involved in co-creating and sharing narratives on social networks. T.B. Phung, D.V.P. Nguyen, and V.P.T. Tran prove that such a communication model strengthens the sense of belonging to the brand and contributes to long-term marketing involvement [8]. In Ukrainian conditions, these approaches are only beginning to develop, and storytelling remains largely one-sided [9].

Table 3

Comparative characteristics of storytelling in undersaturated and oversaturated markets

Comparison criterion	Low-saturation market (Ukraine)	Oversaturated market (USA)
Main function of storytelling	building identity and basic trust	differentiation and competition for attention
Nature of narratives	explanatory, value-based, socially oriented	emotionally rich and complexly structured
Level of competition	relatively low	high and oversaturated with information
Role of authenticity	a means of legitimizing the brand	a critical factor for trust and loyalty
Consumer participation	mostly passive	active and participatory
Strategic outcome	initial loyalty and recognition	audience retention and long-term commitment

Notes. Systematized by the author based on sources [1; 4; 5; 7; 8; 9; 11].

Therefore, it can be argued that the role of storytelling technology is flexible to the market context depending on the characteristics of the business, its geographical location, cultural saturation and overall lifestyle. Storytelling is able to gain trust, in particular, in Ukrainian markets. It allows you to create a certain basis for building trust and understanding of the brand, while in the US market it becomes, using a more professional approach, a factor of multi-level competition, capable of managing emotions and consumer attention.

Conclusions

Therefore, the main significance of using storytelling in marketing strategies lies in its influence on the psychological and emotional state of the audience, which allows you to change or form an attitude towards the product, production, its manufacturer, emotionally involving the consumer in the story of this product.

In the oversaturated US market, storytelling functions as a comprehensive competitive strategy: in conditions of information overload, it is emotionally rich and personalized narratives that ensure attention retention, the formation of brand communities and long-term interaction with the audience, combining communication effect with strategic differentiation. In comparison, in the relatively unsaturated Ukrainian market, storytelling is mainly aimed at forming basic brand identity, trust and social legitimation with a more passive role of the consumer. Thus, in the US, authenticity is a key factor in supporting loyalty, while in Ukraine it is a tool for primary positioning, which confirms the need to adapt narrative strategies to the level of market saturation and consumer behavior models.

References

1. Arora S. The Impact of Emotional Storytelling on Brand Loyalty: A Study of Consumer Engagement through Social Media Advertising, 2025. URL: https://jisem-journal.com/index.php/journal/article/download/2516/996

2. Baig T.A., Razak Q., Qadeem S.E.Y., Zahur H. The psychology of narrative in marketing: Brand communication through storytelling. Research Journal of Social Sciences and Arts, 2025. URL: https://rjsaonline.com/journals/index.php/rjsa/article/view/485

3. Cai J., Osman S., Haron S.A., Teng W. Storytelling, humour, and promotions: How social media impacts brand attitudes and consumer engagement.

Sustainable Futures, 2025. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188825005659

4. Fluhrer P. The role of storytelling in the branding of SMEs. Journal of Brand Management, 2025. URL: https://link.springer.com/article/10.1057/s41262-025-00418-8

5. Kaushik P., Senthilkumar B. The role of storytelling in enhancing consumer engagement and strengthening brand awareness. SSRN, 2025. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5201867

6. Ma S., Wu H. The impact of brand story marketing on consumer brand loyalty. Highlights in Business, Economics and Management, 2025, №60, 205–214. URL: https://doi.org/10.54097/ykvdet97

7. Mandung F. The influence of storytelling techniques in digital marketing on brand loyalty: A consumer psychology perspective. Golden Ratio Marketing and Business Perspectives, 2025, №5(1), 66–78. URL: https://doi.org/10.52970/grmapb.v5i1.782

8. Phung T.B., Nguyen D.V.P., Tran V.P.T. Storytelling on social media: Forging the path to marketing engagement. Congent Business & Management, 2025, №12(1). URL: https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2482016

9. Purnama S., Sarifiyono A.P., Pujianto A.B., Sinaga J. A systematic review of brand storytelling strategies for strengthening new business identity. Formosa Journal of Applied Sciences, 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/395427972

10. Ścibor-Rylski M. Storytelling as a method of increasing engagement in market research participants. Journal of Marketing and Consumer Behaviour in Emerging Markets, 2025, №2(21), 26–38. URL: https://doi.org/10.7172/2449-6634.jmcbem.2025.2.3

11. Voloshko L. Strategic communications and marketing narratives in business environments. SWorldJournal, 2024, №31. URL: https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj31-03-052

12. Kovalchuk, A. Comprehensive business consulting model for SMEs, InterNauka Publishing House, Kyiv, 2025, 98 p. URL: https://www.inter-nauka.com/uploads/public/1747985326472.pdf

Волянський Сергій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, ORCID: 0000-0001-7922-0441.

Добровольська Ліана Олегівна, асистент кафедри судноводіння і морської безпеки, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна, ORCID: 0009-0000-1330-4087 .

Козачук Антон Вікторович, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна, ORCID: 0009-0001-3155-0983.

Volyanskiy Serhii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering of Ship and Robotic Complexes, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-7922-0441.

Dobrovolska Liana, Assistant Professor, Department of Navigation and Maritime Safety, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: 0009-0000-1330-4087.

Kozachuk Anton, Odessa National Maritime University, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: 0009-0001-3155-0983.

СПРОЩЕНА 3-DOF ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНОЮ МОРСЬКОЮ ПЛАТФОРМОЮ В УМОВАХ ХВИЛЬОВИХ ПЕРЕШКОД

SIMPLIFIED 3-DOF DYNAMIC MODEL FOR CONTROLLING AN AUTONOMOUS MARITIME PLATFORM IN WAVY CONDITIONS

Анотація

У статті розглянуто задачу підвищення стійкості та точності керування автономною морською платформою в умовах хвильових збурень. Для опису динаміки використано спрощену нелінійну модель руху у трьох ступенях вільності (3-DOF), що враховує інерційні, коріолісові та демпфувальні впливи. Зовнішні морські збурення моделюються у вигляді гармонічного впливу, характерного для помірного стану моря. Запропоновано робастну схему керування з додатковим демпфувальним зворотним зв’язком та проведено її порівняння з класичним пропорційним регулятором. Результати чисельного моделювання демонструють зменшення амплітуди коливань, підвищення швидкості збіжності та покращення якості відпрацювання заданих траєкторій. Отримані результати можуть бути використані при розробці систем експлуатаційного керування автономними морськими технічними засобами.

Ключові слова: автономна морська платформа; 3-DOF модель; хвильові збурення; робастне керування; морська динаміка; компенсація збурень.

Abstract

The article considers the problem of improving the stability and accuracy of autonomous marine platform control in wave conditions. A simplified nonlinear three-degree-of-freedom (3-DOF) motion model that takes into account inertial, Coriolis, and damping effects is used to describe the dynamics. External sea disturbances are modeled as a harmonic effect characteristic of moderate sea conditions. A robust control scheme with additional damping feedback is proposed and compared with a classic proportional controller. The results of numerical modeling demonstrate a decrease in the amplitude of oscillations, an increase in the convergence rate, and an improvement in the quality of the specified trajectories. The results obtained can be used in the development of

operational control systems for autonomous marine technical means.

Keywords: maritime autonomous platform; 3-DOF model; wave disturbance; robust control; marine dynamics; disturbance rejection.

Постановка проблеми. Ефективне функціонування автономних морських технічних засобів (АМТЗ) значною мірою залежить від здатності підтримувати стабільні режими руху в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

Одним із ключових факторів, що впливають на динаміку руху морських платформ, є хвильові збурення, які спричиняють коливальні процеси та знижують точність відпрацювання керуючих сигналів. Традиційні лінійні регулятори не завжди забезпечують достатній рівень стійкості при змінних параметрах середовища та нелінійній гідродинаміці.

У зв’язку з цим актуальною є розробка спрощених, але адекватних математичних моделей автономних морських платформ, які дозволяють аналізувати вплив зовнішніх збурень та оцінювати ефективність різних стратегій керування.

Метою даної роботи є побудова спрощеної нелінійної 3-DOF моделі автономної морської платформи та дослідження ефективності робастної схеми керування в умовах гармонічного хвильового збурення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження у сфері автономних морських технічних засобів охоплюють широкий спектр задач від візуального спостереження до кооперативного керування та багатосенсорної інтеграції. Зокрема, Zhang et al. (2017) розглядають методи виявлення суден з рухомих платформ, що є важливим для навігаційної автономії. Bose et al. (2025) аналізують перспективні бездротові технології морського зв’язку, підкреслюючи роль стабільних каналів передачі даних для автономних систем.

Питання безпечного планування траєкторії автономних надводних суден досліджуються у роботі Song et al. (2024), де запропоновано інтеграцію ситуаційних карт знань із динамічним алгоритмом вікна. Кооперативне керування морськими безпілотними системами, зокрема у зв'язці UAV–USV, розглядається у Zhang et al. (2025), що демонструє зростання інтересу до мультиагентних морських систем.

Важливим напрямом є сенсорна інтеграція та системи сприйняття навколишнього середовища (Lu et al., 2025), а також дослідження взаємодії людина–машина в автономному судноплавстві (Liu et al., 2022), а деякі окремі роботи присвячені системам екологічного моніторингу та безпеки, зокрема виявленню розливів нафти та пожеж (Kim et al., 2025).

Таким чином незважаючи на активний розвиток алгоритмів сприйняття, навігації та кооперативного керування, питання робастного керування динамікою автономних морських платформ в умовах хвильових збурень залишаються актуальними та потребують подальших досліджень.

Мета статті. Метою даної роботи є розроблення та дослідження спрощеної нелінійної динамічної моделі автономної морської платформи з урахуванням хвильових збурень та оцінювання ефективності робастної схеми керування порівняно з класичним пропорційним регулятором. Для досягнення поставленої мети передбачено формалізацію 3-DOF моделі руху платформи у площині, введення гармонічної моделі зовнішнього хвильового впливу та синтез двох варіантів керування з проведенням чисельного моделювання та порівняльного аналізу показників якості.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Математична модель руху. Розглядається рух автономної морської платформи у горизонтальній площині з трьома ступенями вільності: поздовжній рух (surge), поперечний рух (sway) та обертання навколо вертикальної осі (yaw).

Вектор швидкостей має вигляд:

$$\nu = [u \;\; v \;\; r]^T, \qquad (1)$$

де u - поздовжня швидкість, v - поперечна швидкість, r - кутова швидкість рискання.

Динаміка системи описується рівнянням:

$$M\dot{\nu} + C(\nu)\nu + D\nu = \tau + \tau_w, \qquad (2)$$

де M - матриця інерції; $C(\nu)$ - матриця коріолісових та центробіжних сил; D - матриця гідродинамічного демпфування, τ - вектор керуючих впливів; τ_w - вектор зовнішніх збурень.

Для спрощеного чисельного аналізу використано діагональні форми матриць M та D, що дозволяє зосередитися на впливі хвильового збурення та структури регулятора.

Зовнішній вплив середовища моделюється гармонічною функцією:

$$\tau_w(t) = A_w \sin(\omega_w t), \qquad (3)$$

де A_w - амплітуда хвильового навантаження; ω - частота хвилі.

Такий підхід дозволяє імітувати періодичні збурення, характерні для помірного стану моря.

Синтез системи керування. Для оцінювання впливу структури регулятора розглянуто дві схеми керування, а саме: класичне пропорційне керування

$$\tau = K_p(\nu_{ref} - \nu), \qquad (4)$$

та робастна схема з демпфувальним зворотним зв’язком

$$\tau = K_p(\nu_{ref} - \nu) - K_d\dot{\nu}. \qquad (5)$$

Додатковий демпфувальний член забезпечує підвищену стійкість системи до періодичних збурень та зменшення амплітуди коливань.

Якість керування оцінюється за такими показниками як амплітуда усталених коливань, час перехідного процесу та інтегральна похибка відстеження з величиною керуючого впливу.

Порівняльний аналіз результатів чисельного моделювання дозволяє оцінити ефективність запропонованого підходу в умовах хвильових навантажень.

На рисунку 1 представлено зміну поздовжньої швидкості $u(t)$) при використанні класичної та робастної схем керування де робастний регулятор забезпечує зменшення амплітуди коливань і швидшу стабілізацію режиму руху в умовах періодичного збурення.

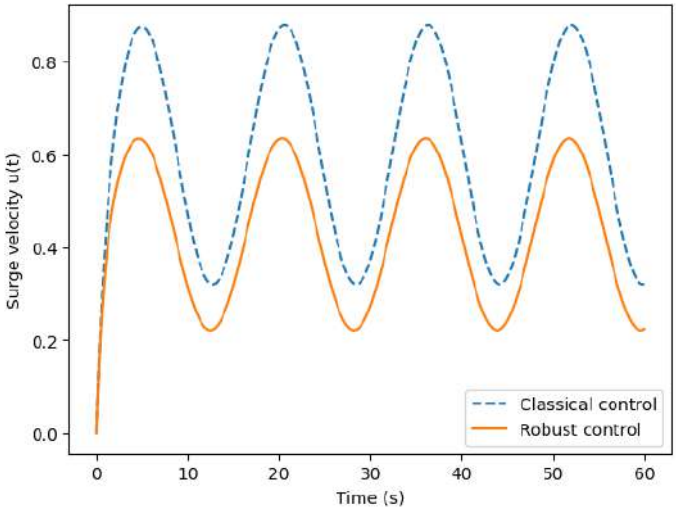


Рисунок 1. Динаміка поздовжньої швидкості автономної морської платформи під дією хвильового збурення

Графік на рисунку 2 відображає динаміку похибки $e_u(t)$ для двох стратегій керування де робастна схема демонструє зниження усталеної похибки та покращену компенсацію періодичних збурень порівняно з класичним регулятором.

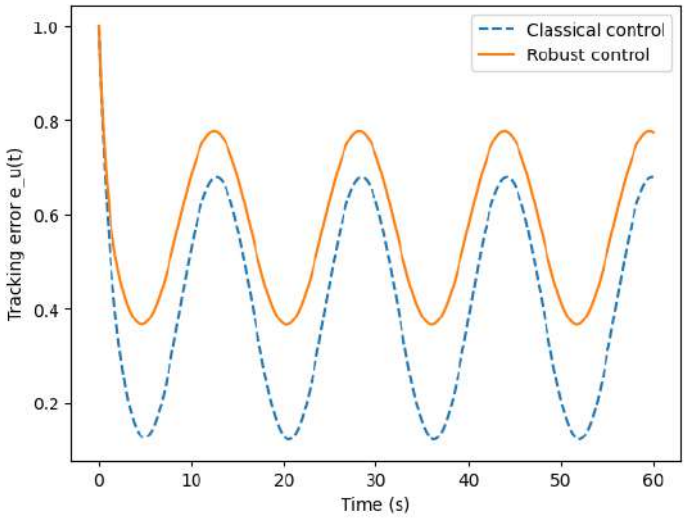


Рисунок 2. Похибка відстеження швидкості в умовах хвильового впливу

На рисунку показано часову залежність керуючого сигналу $\tau_u(t)$. Робастний підхід характеризується більш ефективним формуванням керуючого впливу для придушення хвильових коливань без істотного зростання енергетичних витрат.

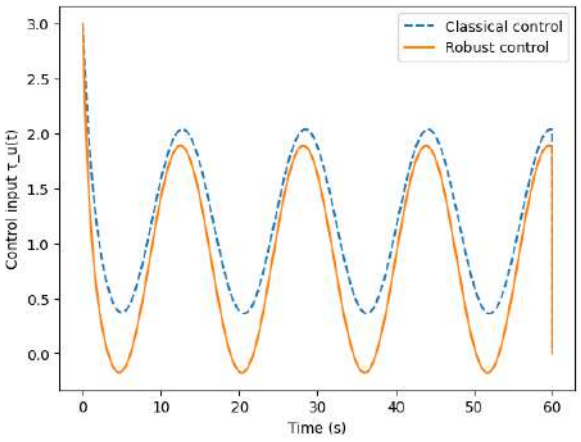


Рисунок 3. Керуючий вплив у каналі поздовжнього руху

Обговорення результатів. Отримані результати чисельного моделювання підтверджують суттєвий вплив хвильових збурень на динамічні характеристики автономної морської платформи. При застосуванні класичного пропорційного регулятора спостерігаються

усталені коливання швидкостей та підвищена амплітуда похибки відстеження, що зумовлено періодичним характером зовнішнього збурення.

Використання робастної схеми керування з додатковим демпфувальним зворотним зв’язком забезпечує більш швидке затухання перехідних процесів та зменшення амплітуди коливань у сталому режимі. Це свідчить про підвищену здатність системи компенсувати періодичні хвильові навантаження. Разом із тим, покращення показників стійкості системи супроводжується незначним збільшенням початкової величини керуючого впливу. Проте загальний рівень енергетичних витрат залишається прийнятним для автономних морських технічних засобів середнього класу.

Запропонована модель, незважаючи на спрощений характер, дозволяє відобразити ключові особливості взаємодії динаміки платформи з хвильовими збуреннями та може бути використана як базис для подальшого розширення з урахуванням нелінійних гідродинамічних коефіцієнтів та адаптивних алгоритмів керування.

Висновки. У роботі розроблено спрощену нелінійну 3-DOF модель автономної морської платформи з урахуванням гармонічного хвильового збурення. Проведено порівняльний аналіз класичної та робастної схем керування. Основні результати дослідження:

1. Хвильові збурення суттєво впливають на точність відстеження та стабільність руху платформи.

2. Додавання демпфувального зворотного зв’язку дозволяє зменшити амплітуду усталених коливань та скоротити тривалість перехідного процесу.

3. Робастна схема керування демонструє кращу компенсацію періодичних зовнішніх впливів без істотного зростання керуючих зусиль.

4. Запропонований підхід може бути використаний як основа для

розробки адаптивних та інтелектуальних систем експлуатаційного керування автономними морськими технічними засобами.

Список використаних джерел

1. Zhang, Y., Li, Q., & Zang, F. (2017). Ship detection for visual maritime surveillance from non-stationary platforms. *Ocean Engineering*, *141*, 53-63. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.06.022

2. Bose, P., Rafiq, G., & Orten, P. (2025). Maritime communications – A review of potential wireless communication technologies. *Ocean Engineering*, *341*, 122527. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122527

3. Song, R., Papadimitriou, E., Negenborn, R. R., & Gelder, P. V. (2024). Integrating situation-aware knowledge maps and dynamic window approach for safe path planning by maritime autonomous surface ships. *Ocean Engineering*, *311*, 118882. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118882

4. Zhang, Z., Liu, S., Wang, H., & Wu, H. (2025). A cooperative control framework for path following of UAV-USV cooperative system in maritime scenarios. *Ocean Engineering*, *342*, 122796. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122796

5. Lu, H., Zhang, Y., Zhang, C., Niu, Y., Wang, Z., & Zhang, H. (2025). A multi-sensor fusion approach for maritime autonomous surface ships berthing navigation perception. *Ocean Engineering*, *316*, 119965. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119965

6. Liu, C., Chu, X., Wu, W., Li, S., He, Z., Zheng, M., Zhou, H., & Li, Z. (2022). Human–machine cooperation research for navigation of maritime autonomous surface ships: A review and consideration. *Ocean Engineering*, *246*, 110555. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110555

7. Kim, H., Pal, A., Cho, J., Al-Kabbany, A. M., Kaswan, K., Joshi, R., Na, S., Lee, J., Choi, K., Kim, M., Choi, D., & Lin, Z. (2025). Thermochromic

fiber-based self-powered detection system for maritime oil spill monitoring and fire safety applications. *Nano Energy*, *147*, 111569. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2025.111569

References

1. Zhang, Y., Li, Q., & Zang, F. (2017). Ship detection for visual maritime surveillance from non-stationary platforms. *Ocean Engineering*, *141*, 53-63. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.06.022

2. Bose, P., Rafiq, G., & Orten, P. (2025). Maritime communications – A review of potential wireless communication technologies. *Ocean Engineering*, *341*, 122527. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122527

3. Song, R., Papadimitriou, E., Negenborn, R. R., & Gelder, P. V. (2024). Integrating situation-aware knowledge maps and dynamic window approach for safe path planning by maritime autonomous surface ships. *Ocean Engineering*, *311*, 118882. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118882

4. Zhang, Z., Liu, S., Wang, H., & Wu, H. (2025). A cooperative control framework for path following of UAV-USV cooperative system in maritime scenarios. *Ocean Engineering*, *342*, 122796. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122796

5. Lu, H., Zhang, Y., Zhang, C., Niu, Y., Wang, Z., & Zhang, H. (2025). A multi-sensor fusion approach for maritime autonomous surface ships berthing navigation perception. *Ocean Engineering*, *316*, 119965. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119965

6. Liu, C., Chu, X., Wu, W., Li, S., He, Z., Zheng, M., Zhou, H., & Li, Z. (2022). Human–machine cooperation research for navigation of maritime autonomous surface ships: A review and consideration. *Ocean Engineering*, *246*, 110555. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110555

7. Kim, H., Pal, A., Cho, J., Al-Kabbany, A. M., Kaswan, K., Joshi, R.,

Na, S., Lee, J., Choi, K., Kim, M., Choi, D., & Lin, Z. (2025). Thermochromic fiber-based self-powered detection system for maritime oil spill monitoring and fire safety applications. *Nano Energy*, *147*, 111569. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2025.111569

Демчук Людмила, кандидат пед. наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID: 0000-0001-5698-7113

Кірейцева Ганна, доктор технічних наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID:0000-0002-1055-178

Хоменко Світлана, аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID: 0009-0002-7463-7867

Demchuk Lyudmila, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, ORCID: 0000-0001-5698-7113

Kireitseva Hanna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, ORCID:0000-0002-1055-1784

Khomenko Svitlana V., Postgraduate Student, Assistant, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, ORCID: 0009-0002-7463-7867

ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ ТА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МАЙБУТНЬОГО

GREEN HYDROGEN AND ENERGY FOR A SUSTAINABLE FUTURE

Анотація

У даній статті розглянуто роль зеленого водню як ключового вектора енергетичного переходу в умовах глобальних кліматичних викликів 2026 року. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю радикальної декарбонізації промислового сектору та важкого транспорту, де пряма електрифікація є технічно обмеженою. Автори аналізують інтеграцію відновлюваних джерел енергії (ВЕЕ) у системи електролізу нового покоління, що дозволяє перетворювати надлишкову сонячну та вітрову генерацію на стабільний енергоносій.

Особлива увага приділяється концепції «Квантового стрибка» у розробці нових матеріалів для зберігання та транспортування водню. Використання квантового моделювання дозволяє значно прискорити пошук ефективних металоорганічних структур (MOFs) та каталізаторів, що не містять критично дефіцитних металів платинової групи. Це відкриває шлях до зниження собівартості виробництва водню та підвищення безпеки його використання у міській інфраструктурі.

У контексті японського досвіду побудови «Водневого суспільства» аналізуються сучасні кейси впровадження водневих паливних елементів у муніципальні мережі Токіо. Досліджується синергія між цифровими технологіями управління енергією (Smart Grid) та фізичною інфраструктурою виробництва H_2. Такий підхід забезпечує гнучкість енергосистеми та мінімізує втрати при передачі енергії на великі відстані.

Екологічний аспект роботи зосереджений на оцінці життєвого циклу водневих технологій. Автор доводить, що перехід на зелений водень дозволяє не лише знизити викиди CO_2, а й стимулює розвиток економіки замкненого циклу через використання побічного продукту електролізу — чистого кисню — у суміжних галузях. Це створює додаткову додану вартість та підвищує загальну ресурсну ефективність екосистеми.

Економічна складова дослідження базується на прогнозах динаміки цін на енергоносії до 2030 року. Виявлено, що масштабування потужностей електролізерів та впровадження міжнародних стандартів сертифікації «чистого» палива є критичними факторами для досягнення цінового паритету з викопним паливом. Пропонується модель державного стимулювання інвестицій у водневу інфраструктуру як стратегічного активу національної безпеки.

У висновках підкреслюється, що інтеграція високих технологій, квантової науки та екологічного менеджменту є єдиним дієвим механізмом досягнення цілей сталого розвитку. Форум 2026 року в Токіо стає відправною точкою для глобального технологічного консенсусу, де зелений водень виступає не просто як паливо, а як фундамент нової безвуглецевої цивілізації.

Ключові слова: зелений водень, декарбонізація, електроліз, сталий розвиток, екологічний ризик, квантові технології, паливні елементи, відновлювана енергетика, енергетичний перехід, екологічна безпека, Токіо-2026, економічні та екологічні перспективи

Abstract

This article examines the role of green hydrogen as a key vector of energy transition in the context of global climate challenges in 2026. The relevance of the study is determined by the need for radical decarbonization of the industrial sector and heavy transport, where direct electrification is technically limited. The authors analyze the integration of renewable energy sources (RES) into new-generation electrolysis systems, which allows converting excess solar and wind generation into a stable energy carrier.

Particular attention is paid to the concept of a “quantum leap” in the development of new materials for hydrogen storage and transportation. The use of

quantum modeling significantly accelerates the search for effective metal-organic frameworks (MOFs) and catalysts that do not contain critically scarce platinum group metals. This paves the way for reducing the cost of hydrogen production and increasing the safety of its use in urban infrastructure.

In the context of Japan's experience in building a “Hydrogen Society,” current cases of hydrogen fuel cell implementation in Tokyo's municipal networks are analyzed. The synergy between digital energy management technologies (Smart Grid) and the physical infrastructure for H_2 production is being explored. This approach ensures the flexibility of the energy system and minimizes losses during long-distance energy transmission.

The environmental aspect of the work focuses on assessing the life cycle of hydrogen technologies. The author argues that the transition to green hydrogen not only reduces CO_2 emissions but also stimulates the development of a closed-loop economy through the use of a by-product of electrolysis — pure oxygen — in related industries. This creates additional added value and increases the overall resource efficiency of the ecosystem.

The economic component of the study is based on forecasts of energy price dynamics until 2030. It has been found that scaling up electrolyzer capacity and introducing international standards for “clean” fuel certification are critical factors for achieving price parity with fossil fuels. A model of state stimulation of investment in hydrogen infrastructure as a strategic asset of national security is proposed.

The conclusions emphasize that the integration of high technology, quantum science, and environmental management is the only effective mechanism for achieving sustainable development goals. The 2026 forum in Tokyo is becoming a starting point for a global technological consensus, where green hydrogen is seen not just as a fuel, but as the foundation of a new carbon-free civilization.

Keywords: Green hydrogen, decarbonization, electrolysis, sustainable development, environmental risk, quantum technologies, fuel cells, renewable energy, energy transition, environmental safety, Tokyo 2026, economic and environmental prospects

Постановка проблеми. Для визначення місця та ролі екологічної безпеки в системі суспільної безпеки необхідно проаналізувати взаємозв'язок між ключовими категоріями нашого дослідження: «екологічна безпека» та «національна безпека». На основі аналізу визначень можна стверджувати, що національна безпека є складовою ширшої системи міжнародної безпеки, яка охоплює всі види безпеки в межах національної юрисдикції України. До цієї системи належать, зокрема, оборонна (військова) безпека, екологічна безпека, громадська безпека, пожежна безпека, охорона праці, радіаційний захист тощо.

Екологічна безпека, як компонент національної безпеки, спрямована на запобігання, мінімізацію та реагування на екологічні ризики, що загрожують життю населення, природним ресурсам і критично важливій інфраструктурі. Приклади таких ризиків включають промислові аварії, забруднення питної води, деградацію ґрунтів та наслідки зміни клімату. Інтеграція екологічної безпеки у загальну систему забезпечує координацію заходів між відомствами — від оборонних структур до служб цивільного захисту та органів охорони здоров'я.

Особливий підхід до основних засад державної (національної) безпеки підтримується більшістю дослідників даної проблематики: вони наголошують на комплексності, превентивності та міжвідомчій координації заходів. У цьому контексті пріоритет національної безпеки забезпечується нормативним закріпленням у чинному законодавстві, яке визначає повноваження, механізми взаємодії та відповідальність суб'єктів

забезпечення безпеки. Така правова база створює підґрунтя для ефективного управління ризиками й оперативного реагування на загрози, включно з екологічними інцидентами [1].

Сучасна світова енергетика перебуває у точці критичної трансформації, зумовленої необхідністю виконання цілей Паризької угоди та досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. Попри стрімке зростання частки сонячної та вітрової генерації, залишається невирішеним питання стабілізації енергосистем та декарбонізації «важких» секторів промисловості. Традиційні методи накопичення енергії, такі як літій-іонні акумулятори, мають обмежену ємність та екологічні ризики, пов'язані з видобутком сировини.

Зелений водень, отриманий шляхом електролізу води за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВЕЕ), розглядається як універсальний енергоносій, здатний подолати ці бар'єри. Проте ключовою проблемою залишається висока собівартість його виробництва, складність транспортування та низький коефіцієнт корисної дії існуючих електролізних установок. Без системного технологічного прориву масове впровадження водневих рішень залишається економічно вразливим.

Більше того, глобальна енергетична безпека вимагає створення надійної інфраструктури, яка б не залежала від монопольних постачальників викопного палива. Пошук альтернативних каталізаторів, що не використовують дорогоцінні метали (платину, іридій), стає пріоритетним завданням для матеріалознавства. У цьому контексті виникає гостра потреба в інтеграції квантових обчислень для прискорення наукового пошуку.

Отже, проблема полягає у необхідності створення цілісної екосистеми «зеленого» водню, яка б об’єднувала високоефективні методи генерації, безпечні технології зберігання та цифрові платформи управління розподілом. Саме на вирішенні цих протиріч між екологічною доцільністю

та техніко-економічною ефективністю зосереджена увага провідних технологічних хабів, зокрема Токіо, як центру інновацій 2026 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження у сфері водневої енергетики (2024–2026 рр.) зосереджені на вдосконаленні мембранних технологій та аніонообмінних електролізерів (AEM), що підтверджується працями провідних інженерів з IRENA та IEA. Фундаментальні аспекти квантового моделювання нових матеріалів для зберігання водню широко висвітлені в публікаціях дослідницьких центрів Японії (зокрема інституту RIKEN). Питання інтеграції водню в муніципальні мережі «розумних міст» активно розглядаються в роботах фахівців з урбаністики, які аналізують досвід реалізації проекту Woven City компанії Toyota. Екологічні аспекти та аналіз життєвого циклу (LCA) водневих систем представлені в останніх звітах Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (IPCC).

Питанням низьковуглецевого розвитку загалом опікуються численні українські дослідники, зокрема такі як Подолець Р., Дячук О., Семенюк А. [2]. Незважаючи на відсутність в Україні ринку, пов'язаного із зеленим воднем, розробка засад його становлення цікавить як вітчизняних, так і міжнародних фахівців. Зокрема, Кудря С.О., Рєпкін О.О., Рубаненко О.О., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я. [3] між іншим, проаналізували стадії становлення "зеленої" водневої енергетики на території України; Кудря С.О., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я., Ткаленко М.Д. [4] зосередилися на технологічній та економічній сторонах опріснення води з метою одержання зеленого водню. Група науковців на чолі з Sharma припускає, що масове впровадження зеленого водню можливе у третьому десятилітті цього століття [5]. На думку цих авторів, у сфері економічного аналізу, що стосується зеленого водню, найбільш нагальними будуть аспекти комерційної вигоди проєктів та їхній вплив на соціально-економічний

прогрес держав. Усвідомлення потенціалу та шляхів розширення використання зеленого водню в Україні, а також перспективи інтеграції у світовий ринок зеленого водню, обумовили значущість цієї роботи.

Мета статті – комплексне дослідження технологічного потенціалу зеленого водню як базису для сталого розвитку енергетики до 2030 року, аналіз інноваційних методів підвищення ефективності електролізу за допомогою квантових технологій та розробка рекомендацій щодо впровадження водневої інфраструктури в сучасні мегаполіси на прикладі стратегії розвитку Токіо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Токіо активно просуває концепцію «Водневого суспільства». У межах форуму це можна представити як:

1. Поєднання ШІ та квантових сенсорів для управління міською енергією без втрат.
2. Презентація японських розробок у сфері водневих паливних елементів для авіації та судноплавства.

Цивілізований світ шукає заміну викопному паливу. Вугілля, нафта, газ – причина енергозалежності та забрудненого довкілля. Країна-терорист росія перетворила енергоносії на гібридну зброю і традиційно використовує викопне паливо для шантажу інших країн та фінансування своєї кривавої машини війни.

Газовий зашморг, закинутий росією на шию нашої країни, коштував нам дуже дорого. Ми знаємо справжню ціну енергії. Наш висновок однозначний: енергетична свобода – це складова національної безпеки.

Заради енергетичної незалежності та кліматичної нейтральності дедалі більше країн переходять на альтернативні джерела енергії та безвуглецеві технології. Уже нікого не дивує використання сонячних та вітрових станцій,

біогазових установок, енергоефективних "розумних" технологій, пасивних будинків.

Світ шукає нові джерела енергії. У центрі уваги – водень. Його вважають паливом майбутнього. Він може замістити традиційні види палива та не спричиняє викидів CO_2. Воднева енергетика повинна стати пріоритетом і для України.

Це перспективна можливість зменшити залежність від викопного палива та декарбонізувати економіку, розвивати експорт та спільні з ЄС водневі проєкти, а головне – стати енергонезалежною та зміцнити свій суверенітет. Це враховують усі дотичні до цього питання урядові структури у своїх стратегіях розвитку.

Зелений водень (H_2) сьогодні розглядається як «священний грааль» енергетики, оскільки він дозволяє декарбонізувати галузі, де електрифікація неможлива (металургія, важкий транспорт, хімічна промисловість). Зелений водень, отриманий електролізом води за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), є ключовим компонентом для досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. Він забезпечує чисту енергію для промисловості, транспорту та опалення, не маючи викидів. Україна має стратегічний потенціал стати експортером водню до ЄС, використовуючи наявну газотранспортну систему та розвиваючи інфраструктуру. Він виготовляється через електроліз, де електроенергія надходить від сонячних, вітрових або гідроелектростанцій.

Першою країною, яка схвалила національну стратегію розвитку водневої енергетики, стала Японія у 2017 році. Там налічуються близько 7 500 автомобілів та 120 автобусів на водневих паливних комірках, близько 160 водневих заправок.

У Німеччині почав працювати перший парк поїздів на водневих паливних елементах. У Нідерландах будують найбільший у Європі завод з

виробництва чистого водню. Існують понад 100 пілотних і демонстраційних проєктів з використання водню в судноплавстві, а в енергетиці оголошено проєкти загальною потенційною потужністю майже 3,5 ГВт до 2030 року.

Китай лідирує за збільшенням потужностей електролізера із сукупною потужністю 220 МВт у 2022 році, ще 750 МВт будує. ЄС схвалив "Водневу стратегію", створив Європейський водневий банк та оголосив перші аукціони на кінець 2023 року.

США анонсували стимули для виробництва чистого водню відповідно до закону про зниження інфляції, оприлюднили амбітну водневу стратегію з планом імплементації і лише у 2023 році інвестували у водневі проєкти 66 млрд дол.

Це лише деякі ключові моменти розвитку галузі. За прогнозами МЕА, очікується зростання виробництва електролізерів і поширення проєктів.

Як розпочалася широкомасштабне вторгнення, в Україні вже неодноразово лунали ідеї стосовно налагодження виробництва водню з використанням екологічно чистих технологій. Цей "зелений" водень добувається завдяки електроенергії, отриманій із відновлюваних джерел. Оскільки зелений водень розглядається як одне з головних видів пального у найближчі роки, для України критично необхідно не просто увійти до цього багатообіцяючого глобального ринку, а й посісти в ньому провідні позиції.

Україна розробляє водневу стратегію до 2050 року, фокусуючись на експорті "зеленого" водню через ГТС до ЄС (проект "Україна-Європа"). Водень має високу енергоємність порівняно з традиційними паливами та є екологічно чистим. Зелений водень використовується в промисловості (виробництво сталі, аміаку), нафтопереробці та як паливо для транспорту.

Необхідність врегулювання правових засад, створення стандартів безпеки, залучення інвестицій та вирішення питань обмеженості водних ресурсів. Дослідження вказують на важливість залучення науки та

гідроенергетики для створення водневої економіки в Україні, що забезпечить сталий розвиток і зменшення вуглецевих викидів.

Україна як ключовий партнер ЄС у виробництві водню відкриває для нас широкий спектр можливостей для співпраці з міжнародними партнерами. Це задекларовано в низці європейських документів.

У 2020 році ЄС презентував "Водневу стратегію" на період до 2050 року, а у 2022 році – план позбуття залежності від російських енергоресурсів REPowerEU. Ці документи роблять акцент на виробництві "зеленого" водню, а Україна визначена пріоритетним партнером завдяки потенціалу відновлюваних джерел енергії.

Згідно з REPowerEU, Євросоюз хоче виробляти 10 млн тонн відновлювального водню і стільки ж імпортувати до 2030 року, щоб замінити природний газ, вугілля та нафту в промисловості і транспорті, які важко декарбонізувати. ЄС також планує створити коридори для імпорту водню. Проєкт Central European Hydrogen Corridor уже пройшов перший етап економічної експертизи. Він об’єднує операторів газотранспортних мереж Німеччини, Чехії, Словаччини та України і забезпечить транспортування українського водню до німецьких споживачів.

З огляду на отримання Україною статусу кандидата на членство в ЄС та вимоги "Європейського зеленого курсу", розвиток водневої економіки має стратегічне значення для країни. Фахівці Міненерго, Держенергоефективності, асоціацій, наукових установ розробили проєкт "Водневої стратегії України".

Свідченням серйозності намірів Євросоюзу щодо співпраці з Україною став меморандум про стратегічне партнерство ЄС та України у сфері відновлюваних газів – водню та біометану. Розроблений Міненерго, Держенергоефективності та Українською водневою радою документ

підписали прем’єр-міністр Денис Шмигаль та президент Єврокомісії Урсула фон дер Ляєн у лютому 2023 року.

Відповідно до положень меморандуму, співпраця буде зосереджена на "зеленому" переході та декарбонізації енергетичних секторів, сприянні виробництву, торгівлі, транспортуванню, зберіганню та використанню біометану, відновлюваного водню, його похідних та інших синтетичних відновлюваних газів.

Україна також може стати невід’ємною частиною реалізації амбітної цілі стратегії "Європейської зеленої угоди" "2·40 ГВт нових потужностей з виробництва водню". Співпраця ЄС з Україною в розбудові відновлюваних джерел енергії та виробництві "зеленого" водню в рамках ініціативи "2·40 ГВт" передбачає будівництво в Україні 10 ГВт електролізерів для випуску "зеленого" водню.

Споживання водню у світовому масштабі сягнуло позначки у 95 мільйонів тонн упродовж 2022 року [4]. Ця цифра підтверджує продовження зростаючого тренду, який тимчасово пригальмувався у 2020 році через пандемію COVID-19 та спричинений нею економічний спад.

Зростання попиту на водень спостерігалося у переважній більшості ключових регіонів, за винятком Європи. У Європейському регіоні використання водню відчутно просіло внаслідок зниження виробничої активності, особливо у секторі хімічної промисловості. Це було спровоковано різким злетом цін на природний газ під час енергетичної кризи, яка розгорнулася слідом за вторгненням російської федерації в Україну. Зокрема, низка підприємств із виробництва добрив змушена була або обмежити обсяги випуску, або повністю законсервувати діяльність на тривалий час, що призвело до падіння споживання водню в Європі майже на 6%.

Водень вважається однією з ключових складових Європейського зеленого курсу (European Green Deal) та запорукою досягнення кліматичної нейтральності Євросоюзом до 2050 року. У 2021 році ЄС ухвалив загальну (охоплюючу) «Водневу стратегію» [6]. Згідно з цією Стратегією, Україні відводилася позиція одного з головних партнерів для забезпечення постачання водню до ЄС, нарівні з Марокко та низкою інших північноафриканських держав, а також кількома країнами-членами самого ЄС. Різні країни Євросоюзу розробили та офіційно затвердили власні водневі стратегії (рис. 1).

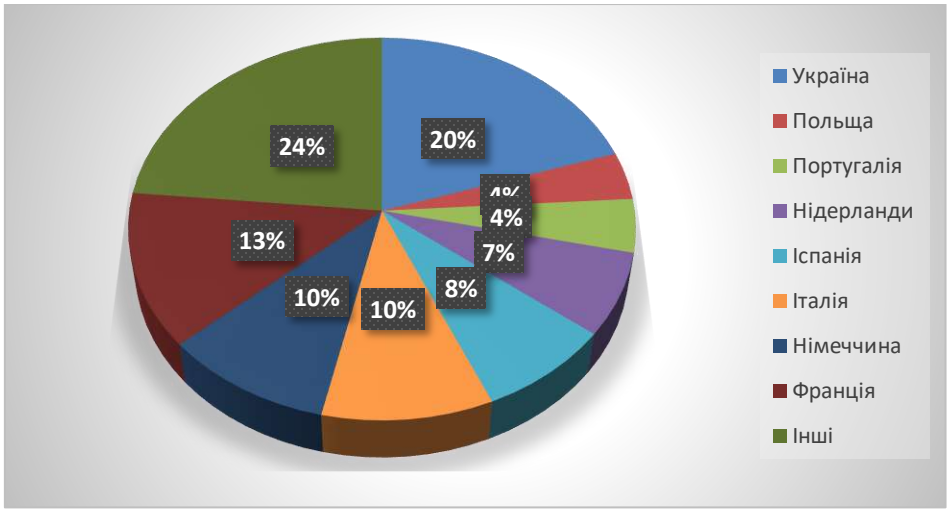


Рис.1. Потужності електролізерів у водневих стратегіях країн ЄС, ГВт [7]

На противагу цьому, Північна Америка та Близький Схід зафіксували суттєве збільшення споживання водню, приблизно на 7% у кожному з цих регіонів, що повністю перекрило європейське зниження. У Китаї зростання було поміркованішим — близько 0,5%, проте країна утримує статус найбільшого світового споживача водню, забезпечуючи майже 30% його загального використання — це більш ніж удвічі перевищує показники Сполучених Штатів, які посідають другу сходинку за обсягами споживання [3]. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА),

глобальний попит на водень, вироблений із поточного викопного палива, матиме тенденцію до зниження, тоді як попит на низьковуглецевий водень, навпаки, зростатиме (рис. 2).

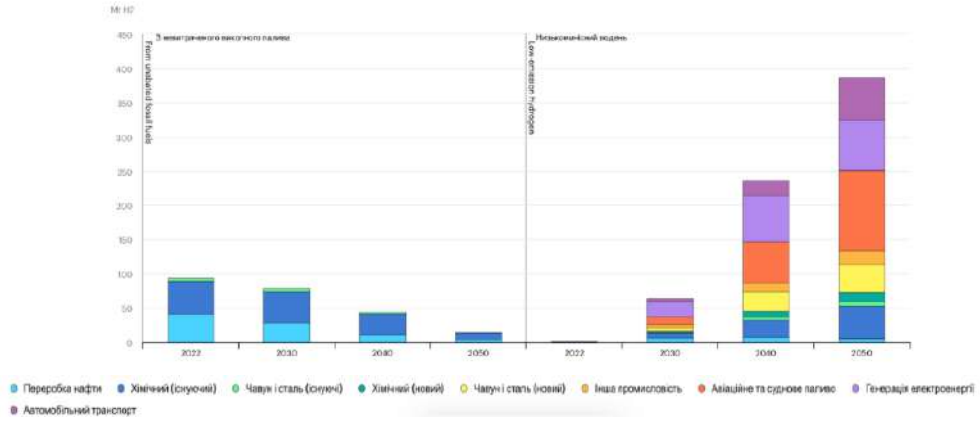


Рис. 2 Глобальний попит на водень у сценарії досягнення чистого нуля, 2022–2050 рр.

Джерело: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-demand-in-the-net-zero-scenario-2022-2050

Світовий ринок так званого «зеленого» водню демонструє невпинну динаміку зростання. За даними звіту SNS Insider, у 2022 році його обсяг дорівнював 156 мільярдам доларів, а вже до 2030 року очікується збільшення до 385 мільярдів доларів, що відповідає середньорічному темпу приросту у 11,98% [9].

Сьогодні водень активно використовується у нафтопереробній та хімічній промисловості (як ключова сировина), у металургії (як відновник), а також у низці спеціалізованих галузей.

Японія будує «Водневе суспільство» (Hydrogen Society). До 2030 року ключовими проектами є:

- Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH_2R) – один із найбільших у світі заводів із виробництва зеленого водню.
- Заміна дизельного транспорту на паливні елементи.

- Додавання водню до природного газу в міських мережах для зниження викидів.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що зелений водень є єдиним реальним інструментом повної декарбонізації енергоємних галузей промисловості. Завдяки високій питомій енергоємності та нульовим викидам у точці споживання, він здатен замінити природний газ та вугілля у металургії, хімічній індустрії та на великовантажному транспорті, забезпечуючи перехід до кліматично нейтральної економіки.

Використання квантових технологій та методів штучного інтелекту для розробки нових матеріалів («Квантовий стрибок») дозволяє подолати головний бар'єр — високу вартість обладнання. Моделювання на молекулярному рівні дає змогу створювати доступні каталізатори та адсорбенти, що підвищує загальну рентабельність водневих проектів на 30-40% вже у найближчі роки.

Формування «Водневого суспільства», яке ми спостерігаємо на прикладі Токіо 2026, демонструє важливість синергії між державою, наукою та бізнесом. Створення територіальних водневих кластерів, де виробництво палива розташоване поблизу місць споживання, мінімізує витрати на логістику та підвищує стійкість міської інфраструктури до енергетичних криз.

Екологічна значущість дослідження полягає в доведенні того, що зелений водень не лише знижує викиди парникових газів, а й сприяє розвитку циклічної економіки. Використання побічних продуктів (кисню та тепла) у промислових та комунальних процесах створює замкнені ресурсні цикли, що відповідає глобальним принципам сталого розвитку.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що 2026 рік стає рубіжним періодом, коли водень перетворюється з експериментального палива на повноцінний актив глобального енергетичного ринку. Подальші зусилля

мають бути спрямовані на стандартизацію міжнародних норм безпеки та створення глобальних ланцюгів постачання «чистого» водню, що забезпечить стабільне майбутнє для наступних поколінь.

Список використаних джерел

1. Демчук Л. І., Нонік Л. Ю., Войналович І. М. Еколого-техногенна безпека, як роль у формуванні стратегії національної безпеки держави. Сучасні вектори розвитку України: забезпечення сталості та безпеки. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-¬практичної конференції (м. Київ, 28 жовтня 2024 року). Чернігів: ГО «Науково-¬освітній інноваційний центр суспільних трансформацій», 2024. DOI: https://doi.org/10.54929/conf_28_10_2024-16-01

2. Chepeliev, M., Diachuk, O., Podolets, R., & Semeniuk, A. (2023). What is the future of nuclear power in Ukraine? The role of war, techno-economic drivers, and safety considerations. Energy Policy, 178, 113612. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113612

3. Кудря, С. О., Рєпкін, О. О., Рубаненко, О. О., Яценко, Л. В., & Шинкаренко, Л. Я. (2022). Етапи розвитку зеленої водневої енергетики України. Відновлювана енергетика, (1(68), 5-16. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16

4. Кудря, С., Яценко, Л. В., Шинкаренко, Л. Я., & Ткаленко, М. Д. (2021). Опріснення морської води для отримання зеленого водню. Відновлювана енергетика, (4(67), 6-17. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).6-17

5. Sharma, G. D., Verma, M., Taheri, B., Chopra, R., & Parihar, J. S. (2023). Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. Technological Forecasting and Social Change, 192, 122574. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122574

6. EC (2020) A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. COM(2020) 301 final. European Commission. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301.

7. Кудря С.О. (2023). Напрями розвитку вітроводневої енергетики України. In XXIV Міжнароднанауково-практична онлайн-конференція "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті," 18–19 травня 2023 року. Організатори – НТУ КПІ, ІВЕ НАНУ, Варшавська Політехніка. С.13-19.

8. Arat, H. T., Baltacioglu, M. K., Tanç, S., Sürer, M. G., & Dincer, I. (2020). A perspective on hydrogen energy research, development and innovation activities in Turkey. International Journal of Energy Research, 44(2), 588-593. https://doi.org/10.1002/er.5031

9. BRDO (2022). Зелена відбудова України: перспективи застосування водню в транспорті. URL: https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-vtransporti/

10. European Clean Hydrogen Alliance. 2023. Retrieved from. URL: https://single-marketeconomy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en

11. EC (2022) REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. COM(2022) 108 final. European Commission. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=COM:2022:108:FIN

12. Атлас енергетичного потенціалу України. 2020. Інститут відновлюваної енергетики НАНУ. URL: https://drive.google.com/file/d/11Ay1otLjiqIQelPKxSqfir2rYwGIKxSg/view

13. Україна може стати надійним постачальником зеленого водню до ЄС. URL: https://ukraineinvest.gov.ua/uk/news/06-06-22-2/

14. Нафтогаз підписав меморандум про реалізацію проекту «H_2EU+Store» з виробництва «зеленого» водню в Україні та його постачання до Німеччини. URL: https://www.naftogaz.com/news/green-hydrogen-ukraine-germany

15. Кірейцева Г., Виговська О., Хоменко С. Інтегрована модель залучення зелених інвестицій для декарбонізації залізорудної промисловості України. Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування». 2025. Вип. 2 (8). С. 10–19. DOI: https://doi.org/10.32782/2786-5681-2025-2.02

16. Хоменко С.В., Кірейцева Г.В. Оцінка стану впровадження міжнародних зобов'язань України зі зміни клімату в законодавче та нормативно-правове забезпечення. Екологічні науки. 2025. Вип. 2(59). С. 228-235. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.35

References

1. Demchuk, L. I., Nonik, L. Y., & Voinakovych, I. M. (2024). *Ekoloho-tekhnohenna bezpeka, yak rol u formuvanni stratehii natsionalnoi bezpeky derzhavy* [Ecological and technogenic safety as a role in forming the state's national security strategy]. In *Suchasni vektory rozvytku Ukrainy: zabezpechennia stalosti ta bezpeky* (pp. 16-21). Scientific and Educational Innovation Center of Social Transformations. https://doi.org/10.54929/conf_28_10_2024-16-01

2. Chepeliev, M., Diachuk, O., Podolets, R., & Semeniuk, A. (2023). What is the future of nuclear power in Ukraine? The role of war, techno-economic drivers, and safety considerations. *Energy Policy, 178*, 113612. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113612

3. Kudria, S. O., Riepkin, O. O., Rubanenko, O. O., Yatsenko, L. V., & Shynkarenko, L. Ya. (2022). Etapy rozvytku zelenoi vodnevoi enerhetyky Ukrainy [Stages of development of green hydrogen energy in Ukraine]. *Vidnovliuvana en-*

erhetyka [Renewable Energy], *1*(68), 5–16. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16

4. Kudria, S., Yatsenko, L. V., Shynkarenko, L. Ya., & Tkalenko, M. D. (2021). Oprisnennia morskoi vody dlia otrymannia zelenoho vodniu [Desalination of seawater for green hydrogen production]. *Vidnovliuvana enerhetyka [Renewable Energy]*, *4*(67), 6–17. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).6-17

5. Sharma, G. D., Verma, M., Taheri, B., Chopra, R., & Parihar, J. S. (2023). Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. *Technological Forecasting and Social Change*, *192*, 122574. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122574

6. European Commission. (2020). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe* (COM(2020) 301 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301

7. Kudria, S. O. (2023, May 18–19). *Napriamy rozvytku vitrovodnevoi enerhetyky Ukrainy* [Directions of development of wind-hydrogen energy in Ukraine]. XXIV International Scientific and Practical Online Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century", Kyiv, Ukraine.

8. Arat, H. T., Baltacioglu, M. K., Tanç, S., Sürer, M. G., & Dincer, I. (2020). A perspective on hydrogen energy research, development and innovation activities in Turkey. *International Journal of Energy Research*, *44*(2), 588–593. https://doi.org/10.1002/er.5031

9. BRDO. (2022). *Zelena vidbudova Ukrainy: perspektyvy zastosuvannia vodniu v transporti* [Green reconstruction of Ukraine: prospects for the use of hydrogen in transport]. https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-vtransporti/

10. European Clean Hydrogen Alliance. (2023). https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en

11. European Commission. (2022). *REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy* (COM(2022) 108 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:108:FIN

12. Institute of Renewable Energy of the NASU. (2020). *Atlas enerhetychnoho potentsialu Ukrainy* [Atlas of energy potential of Ukraine]. https://drive.google.com/file/d/11Ay1otLjiqIQelPKxSqfir2rYwGIKxSg/view

13. UkraineInvest. (2022, June 6). *Ukraine can become a reliable supplier of green hydrogen to the EU*. https://ukraineinvest.gov.ua/uk/news/06-06-22-2/

14. Naftogaz. (2021). *Naftogaz signed a memorandum on the implementation of the "H_2EU+Store" project*. https://www.naftogaz.com/news/green-hydrogen-ukraine-germany

15. Kireitseva, H., Vyhovska, O., & Khomenko, S. (2025). Intehrovana model zaluchennia zelenykh investytsii dlia dekarbonizatsii zalizorudnoi promyslovosti Ukrainy [Integrated model of attracting green investments for decarbonization of the iron ore industry of Ukraine]. *Scientific Bulletin of Vinnytsia Academy of Continuing Education. Series "Ecology. Public Management and Administration", 2*(8), 10–19. https://doi.org/10.32782/2786-5681-2025-2.02

16. Khomenko, S. V., & Kireitseva, H. V. (2025). Otsinka stanu vprovadzhennia mizhnarodnykh zoboviazan Ukrainy zi zminy klimatu v zakonodavche ta normatyvno-pravove zabezpechennia [Assessment of the state of implementation of Ukraine's international climate change obligations into legislative and regulatory support]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences], 2*(59), 228–235. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.35

Захаріна Оксана Володимирівна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економічної теорії, інтелектуальної власності та публічного управління, Поліський національний університет, м. Житомир, Україна, https://orcid.org/0000-0002-2622-7663

Мосієнко Оксана Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри економічної теорії, інтелектуальної власності та публічного управління, Поліський національний університет, м. Житомир, Україна, https://orcid.org/0009-0002-6148-2018

Zakharina Oksana Volodymyrivna, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Theory, Intellectual Property and Public Administration, Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-2622-7663

Mosienko Oksana Viktorivna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Theory, Intellectual Property and Public Administration, Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine, https://orcid.org/0009-0002-6148-2018

РОЗВИТОК БРЕНДИНГУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ЗВ'ЯЗКІВ З ГРОМАДСЬКІСТЮ: ЗАРУБІЖНІ ПІДХОДИ ТА НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

DEVELOPMENT OF BRANDING IN PUBLIC ADMINISTRATION THROUGH PUBLIC RELATIONS: FOREIGN APPROACHES AND AREAS FOR IMPROVEMENT

Анотація

Досліджено зарубіжний досвід розвитку системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні в умовах сучасних трансформацій державного управління. Обґрунтовано, що комунікаційна діяльність органів публічної влади виступає ключовим чинником формування довіри громадян, забезпечення відкритості управлінських процесів та підвищення якості взаємодії між владою і суспільством. Показано, що в зарубіжній практиці зв'язки з громадськістю дедалі частіше розглядаються як системний елемент управління, інтегрований у процеси формування та реалізації публічної політики, а також як інструмент формування цілісного публічного образу та бренду органів влади.

Проаналізовано підходи до організації системи зв'язків з громадськістю у США та країнах Європейського Союзу, зокрема інституційні моделі, використання цифрових платформ, механізми двостороннього зворотного зв'язку, інструменти залучення громадян і методи оцінювання результативності PR-діяльності. Встановлено, що ефективність комунікацій у публічному управлінні забезпечується поєднанням стратегічного планування, стандартизації процедур, професіоналізації комунікаційних підрозділів та активного використання аналітичних і цифрових технологій.

На основі узагальнення зарубіжного досвіду окреслено основні напрями вдосконалення системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні, серед яких інституційне посилення комунікаційних служб, стандартизація публічних комунікацій, розвиток кадрового потенціалу, цифрова трансформація, розширення участі громадськості та впровадження системи оцінювання ефективності. Зроблено висновок, що реалізація комплексного підходу до розвитку зв'язків з громадськістю сприятиме підвищенню прозорості, підзвітності та легітимності управлінських рішень,

зміцненню довіри громадян і формуванню стійкого публічного бренду органів влади.

Ключові слова: публічне управління, зв'язки з громадськістю, відкритий уряд, публічний бренд, довіра громадян, цифрові комунікації.

Abstract

The foreign experience of developing a public relations system in public administration in the context of modern transformations of public administration has been studied. It has been substantiated that the communication activities of public authorities are a key factor in building public trust, ensuring the transparency of management processes, and improving the quality of interaction between the authorities and society. It is shown that in foreign practice, public relations are increasingly seen as a systemic element of management, integrated into the processes of public policy formation and implementation, as well as a tool for shaping a coherent public image and brand of public authorities.

The article analyzes approaches to organizing public relations systems in the United States and European Union countries, in particular institutional models, the use of digital platforms, two-way feedback mechanisms, tools for citizen engagement, and methods for evaluating the effectiveness of PR activities. It has been established that the effectiveness of communications in public administration is ensured by a combination of strategic planning, standardization of procedures, professionalization of communications departments, and active use of analytical and digital technologies.

Based on a review of international experience, the main directions for improving the public relations system in public administration have been outlined, including institutional strengthening of communication services, standardization of public communications, human resource development, digital transformation, expansion of public participation, and implementation of an effectiveness

assessment system. It is concluded that the implementation of a comprehensive approach to the development of public relations will contribute to increasing the transparency, accountability, and legitimacy of management decisions, strengthening public trust, and forming a sustainable public brand for government bodies.

Keywords: public administration, public relations, open government, public brand, public trust, digital communications.

Постановка проблеми. В умовах трансформації публічного управління зростає значення комунікаційної діяльності органів публічної влади як ключового чинника формування довіри громадян, забезпечення відкритості управлінських процесів та підвищення якості взаємодії між владою і суспільством. У цьому контексті система зв'язків з громадськістю виступає основним інструментом реалізації публічної комунікації, однак її функціонування часто залишається фрагментарним та зосередженим переважно на інформуванні, обмежуючи можливості стратегічного розвитку.

У зарубіжній практиці публічного управління брендинг дедалі частіше розглядається як комплексний управлінський підхід, спрямований на формування цілісного публічного образу органів влади, узгодження комунікаційних процесів із стратегічними цілями та підвищення ефективності взаємодії з громадськістю. Реалізація брендингових підходів відбувається передусім через систему зв'язків з громадськістю, яка забезпечує трансляцію цінностей, місії та пріоритетів діяльності органів публічної влади.

Водночас у вітчизняній науковій та управлінській практиці питання розвитку зв'язків з громадськістю у публічному управлінні залишається недостатньо систематизованим. Наявні дослідження здебільшого зосереджуються на нормативно-правових аспектах або окремих

комунікаційних інструментах діяльності органів публічної влади. Недостатньо опрацьованими залишаються також підходи до впровадження та адаптації зарубіжного досвіду розвитку зв'язків з громадськістю в практику публічного управління. У зв'язку з цим актуалізується наукова проблема необхідності аналізу зарубіжного досвіду розвитку брендингу в публічному управлінні через систему зв'язків з громадськістю та визначення напрямів її вдосконалення в сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у формування та розвиток системи зв'язків з громадськістю зробили зарубіжні та українські науковці. Серед зарубіжних дослідників, чиї роботи стали основою сучасних концепцій PR у державному секторі, виділяють С. Блека, С. Катліпа, А. Сентера, Г. Брума, Р. Бернса та Л. Кітча. Вони досліджували теоретичні засади PR, моделі комунікацій між органами влади та суспільством, технології організації публічних комунікацій та проблеми ефективності інформаційної політики.

Серед українських дослідників значний внесок зробили В. Л. Тодосійчук, О. Б. Ігнатюк, В. В. Горачук, Л. Є. Кошелева, А. О. Даниленко, Н. П. Матюхіна, Є. І. Таран, Н. В. Філіпова, В. П. Трощинський, М. С. Ковтун, Ю. П. Сурмін, Ю. П. Битяк, та Р. А. Науменко. Вчені досліджували організацію PR в українських органах влади, роль комунікацій у підвищенні відкритості та підзвітності, методики оцінки ефективності та формування позитивного іміджу державних інституцій. Сучасні українські дослідження акцентують увагу на цифровізації публічних комунікацій, використанні соціальних мереж та інноваційних інструментів, які підвищують ефективність управління, довіру громадян та формують прозору та відкриту систему взаємодії з суспільством.

Метою статті є дослідження зарубіжного досвіду розвитку системи зв'язків з громадськістю в публічному управлінні та визначення напрямів

вдосконалення комунікацій органів влади, зокрема у контексті формування публічного бренду.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зарубіжний досвід розвитку системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні виступає ключовим джерелом знань для вдосконалення національної практики державного управління. Він дозволяє виявити ефективні підходи до організації комунікацій між органами влади та громадянами, оцінки результативності PR-діяльності та інтеграції сучасних технологій у процес управління. Вивчення міжнародних моделей надає можливість зрозуміти, яким чином державні інституції забезпечують прозорість, підзвітність і легітимність управлінських рішень, а також які механізми залучення громадян сприяють підвищенню їхньої участі у формуванні та реалізації публічної політики.

Особливо цінним є аналіз досвіду країн із різними політичними, економічними та культурними традиціями, оскільки це дозволяє порівняти різні стратегії комунікацій, інструменти PR та моделі організації системи зв'язків з громадськістю. Так, практики США та Європейського Союзу демонструють широкий спектр підходів, від інтегрованих стратегій двостороннього спілкування та активного залучення громадян до електронних платформ і цифрових інструментів для моніторингу суспільної думки. Ці приклади слугують підґрунтям для адаптації ефективних рішень до українських умов і створення сучасної, прозорої та результативної системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні.

У США система зв'язків з громадськістю в публічному управлінні має глибокі історичні корені та характеризується високим рівнем інституалізації. PR-діяльність державних органів інтегрована у всі етапи формування і реалізації політики – від планування програм до оцінки їхньої ефективності, охоплюючи федеральний, штатний та місцевий рівні влади. На

федеральному рівні комунікаційні підрозділи присутні в більшості міністерств та агентств, а на рівні штатів і муніципалітетів часто створюються департаменти або відділи комунікацій, які відповідають за інформаційне забезпечення діяльності органів влади та взаємодію з громадськістю.

Американські органи влади широко використовують цифрові платформи для забезпечення доступу громадян до інформації та активного залучення їх до процесу прийняття рішень. Наприклад, урядова платформа «Data.gov» дозволяє відкрито публікувати статистичні та адміністративні дані, забезпечуючи прозорість і можливість їх аналізу громадськістю, медіа та експертними спільнотами. Ще одним прикладом є ініціатива «We the People», сервіс на сайті Білого дому, запущений для подачі петицій від громадян США. Це дозволяє громадянам подавати електронні петиції до адміністрації Президента, після чого петиції, які набрали певну кількість підписів, розглядаються офіційними органами, а автори отримують письмову відповідь. Ця практика демонструє реальну двосторонню комунікацію та є ефективним механізмом зворотного зв’язку.

Крім цифрових інструментів, у США активно застосовуються традиційні форми комунікацій. Це регулярні громадські слухання з обговорення політичних або регуляторних ініціатив, консультації з експертами та громадськими організаціями, організація інформаційних кампаній через пресу та телебачення. Наприклад, при розробці федеральних програм охорони здоров’я проводяться масштабні консультації з професійними асоціаціями, пацієнтськими організаціями та регіональними радами. Така практика дозволяє врахувати інтереси різних груп населення і забезпечити легітимність прийнятих рішень.

Окрім того, американські органи влади застосовують аналітичні інструменти оцінювання ефективності комунікацій, такі як моніторинг

відвідуваності вебпорталів, аналіз активності користувачів у соціальних мережах, опитування громадян та оцінка задоволеності отриманою інформацією. Це дозволяє коригувати стратегії PR, адаптувати комунікаційні кампанії до потреб різних аудиторій та підвищувати прозорість і підзвітність державного управління.

У країнах Європейського Союзу зв'язки з громадськістю у публічному управлінні розглядаються як один із ключових інструментів реалізації політики відкритого уряду, підвищення прозорості, підзвітності та демократичного контролю. У Німеччині, Бельгії, Італії, Іспанії та Швеції широко практикують комплексні інформаційні стратегії, які включають офіційні сайти органів влади, пресслужби, активне використання соціальних медіа, а також залучення громадян до робочих груп, громадських слухань та консультацій.

У Франції ключову роль у формуванні та поширенні інформації виконує Direction de l'information légale et administrative (DILA), яка підпорядковується Прем'єр-міністру та відповідає за надання правової інформації, видання «Офіційного вісника» (Journal officiel) та підтримку державних сервісів, зокрема service-public.fr, який виступає головним порталом для громадян і надає інформацію про права, обов'язки та процедури взаємодії з органами влади. Додатково функції урядової комунікації виконує Service d'information du Gouvernement (SIG), який координує поширення офіційної інформації, забезпечує її доступність громаді та підтримує двосторонній зв'язок між урядом і громадськістю через пресрелізи, консультації та цифрові платформи. Така децентралізована модель дозволяє поєднувати законодавчо-нормативне забезпечення, інформаційне консультування та комунікаційну діяльність, підвищуючи прозорість державного управління та ефективність залучення громадян до публічних процесів.

Водночас, у Фінляндії та Нідерландах практикується модель відкритого уряду. Така модель передбачає стандартизовані процедури комунікацій, регулярне оновлення офіційних порталів із публікацією відкритих даних, аналітичних матеріалів та звітів про виконання державних програм. У Фінляндії, наприклад, через онлайн-платформу «OmaKanta» громадяни можуть отримувати зручний доступ до власних медичних та соціальних даних. Для входу в систему використовуються надійні методи електронної ідентифікації, включно з банківськими кодами, мобільним ідентифікатором або електронним посвідченням особи. OmaKanta є складовою частиною ширшої системи Kanta, яка інтегрує цифрові сервіси охорони здоров'я та соціального забезпечення, забезпечуючи ефективний обмін інформацією між громадянами та медичними установами.

У Нідерландах урядова платформа «Rijksoverheid.nl» надає громадянам доступ до законодавчих документів, консультаційних процесів та відкритих даних про бюджет і державні програми, що сприяє контролю громадськості та зворотному зв'язку.

У країнах Центральної та Південної Європи, таких як Польща, Чехія, Іспанія, PR у публічному управлінні активно використовується для залучення громадян і підвищення прозорості. У Польщі державні органи застосовують інтерактивні сервіси для проведення опитувань громадської думки та отримання пропозицій щодо муніципальних проектів, а в Чехії уряд публікує детальні плани та звіти про виконання програм на порталі «portal.gov.cz» з можливістю коментування та обговорення. В Іспанії використання соціальних медіа та онлайн-консультацій дозволяє залучати широкий спектр громадян до процесу прийняття рішень на місцевому рівні, а результати публікуються для забезпечення підзвітності.

Практика ЄС демонструє комплексний підхід до організації зв'язків з громадськістю у публічному управлінні, який поєднує традиційні канали

комунікацій (прес-служби, громадські слухання) із сучасними цифровими платформами, забезпечує двосторонній зворотний зв'язок і системне оцінювання ефективності комунікацій (табл. 1).

Ці моделі дозволяють державним органам підвищувати прозорість і підзвітність, легітимізувати рішення та зміцнювати довіру громадян до публічних інституцій тощо.

Аналіз зарубіжного досвіду розвитку системи зв'язків з громадськістю показує, що ефективна комунікаційна діяльність органів влади значною мірою базується на стратегічному плануванні, використанні комплексних каналів взаємодії та формуванні цілісного публічного образу інституцій. Зважаючи на ці практики, доцільно окреслити напрями вдосконалення системи зв'язків з громадськістю в Україні, які передбачають інтеграцію елементів брендингу для посилення довіри громадян та підвищення ефективності публічних комунікацій.

Вважаємо, що насамперед доцільним є посилення інституційної спроможності комунікаційних підрозділів органів публічної влади. Йдеться про чітке нормативне закріплення статусу PR-підрозділів у структурі органів управління, визначення їх функцій як стратегічних, а не допоміжних. Комунікаційні служби мають бути інтегровані у процес розроблення та реалізації управлінських рішень, а не залучатися лише на етапі їх інформаційного супроводу. Це забезпечить узгодженість змісту політики та комунікаційної стратегії.

Також важливим напрямом виступає розроблення та впровадження єдиних стандартів публічних комунікацій. Доцільним є формування методичних рекомендацій щодо планування інформаційних кампаній, кризових комунікацій, використання соціальних медіа, підготовки публічних звітів та оцінювання ефективності PR-діяльності.

Таблиця 1

Порівняння практик PR у публічному управлінні в країнах ЄС

Країна	Канали комунікації	Інструменти	Приклади залучення громадян
Франція	Прес-служби, сайти органів влади, інформаційні бюлетені.	Онлайн-консультації, опитування громадян.	Центр державних комунікацій проводить електронні опитування та громадські консультації щодо законопроектів.
Швеція	Офіційні сайти, соціальні медіа, публічні слухання.	Платформи для пропозицій і коментарів.	Громадяни можуть залишати пропозиції та коментарі щодо законодавчих ініціатив. Результати публікуються для прозорості.
Фінляндія	Сайти муніципалітетів, пресслужби.	Урядові портали.	Громадяни отримують інформацію про послуги, залишають запити та пропозиції, які інтегруються у процес прийняття рішень.
Нідерланди	Офіційні сайти уряду, пресслужби.	Портал Rijksoverheid.nl.	Доступ до законодавчих документів, консультацій, відкритих даних про бюджет і державні програми.
Польща	Сайти органів влади, місцеві пресслужби.	Опитування онлайн, електронні сервіси для пропозицій.	Громадяни беруть участь у муніципальних опитуваннях та подають пропозиції щодо локальних проектів.
Чехія	Офіційні урядові портали, прес-служби.	Portal.gov.cz, електронні консультації.	Публікація планів і звітів про виконання програм із можливістю коментування.
Іспанія	Соціальні медіа, офіційні сайти, прес-служби.	Онлайн-консультації, інтерактивні платформи.	Залучення громадян до обговорення рішень на місцевому рівні; результати публікуються для прозорості.

Джерело: власні дослідження авторів.

Таблиця 2

Основні напрями вдосконалення системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні

Напрями удосконалення	Зміст заходів	Очікуваний результат
Інституційне посилення	Нормативне закріплення статусу PR-підрозділів; інтеграція комунікацій у процес прийняття рішень; визначення стратегічної ролі комунікаційних служб.	Підвищення узгодженості управлінських рішень і комунікаційної політики.
Стандартизація комунікацій	Розроблення єдиних стандартів інформаційної діяльності; впровадження регламентів кризових комунікацій; уніфікація вимог до публічної звітності.	Забезпечення системності, прозорості, передбачуваності комунікацій.
Кадрове забезпечення	Підвищення кваліфікації державних службовців; навчання з цифрових комунікацій, аналітики та стратегічного планування; сертифікація фахівців.	Професіоналізація PR-діяльності та зростання її ефективності.
Цифрова трансформація	Розвиток електронних платформ; використання BIG DATA та аналітичних систем; автоматизація збору зворотного зв'язку.	Оперативність реагування та перехід до проактивної моделі комунікації.
Розширення участі громадськості	Партисипативне бюджетування; опитування; електронні консультації; публічні обговорення.	Підвищення довіри до влади та зміцнення партнерської взаємодії з громадянами.
Оцінювання ефективності	Запровадження системи індикаторів результативності; регулярний аудит комунікацій; публічне звітування.	Підвищення підзвітності та вдосконалення комунікаційних стратегій.

Джерело: власні дослідження авторів.

Уніфікація підходів сприятиме підвищенню якості інформаційної політики та забезпечить однакові стандарти відкритості на центральному й місцевому рівнях. Окремої уваги потребує кадрове забезпечення системи зв'язків з громадськістю. Підвищення кваліфікації державних службовців у сфері стратегічних комунікацій, цифрового маркетингу, кризового менеджменту, аналітики даних має стати системним процесом.

Доцільним є впровадження спеціалізованих навчальних програм, сертифікації фахівців із публічних комунікацій, а також залучення експертного середовища до підготовки комунікаційних стратегій.

Безперечно, технологічний напрям удосконалення передбачає подальший розвиток цифрових платформ, інтеграцію інформаційних систем, автоматизацію процесів збору та аналізу зворотного зв'язку. Використання інструментів BIG DATA, штучного інтелекту та прогнозної аналітики дозволить органам влади переходити від реактивної моделі комунікації до проактивної, орієнтованої на попередження криз і своєчасне реагування на суспільні очікування.

Не менш важливим є посилення механізмів участі громадськості у формуванні та реалізації публічної політики. Розширення практики електронних консультацій, громадських обговорень, партисипативного бюджетування, електронних опитувань створює умови для реальної співучасті громадян у прийнятті рішень. Такий підхід формує партнерську модель взаємодії між державою та суспільством і підвищує рівень довіри до публічних інституцій.

Суттєвим напрямом удосконалення виступає запровадження системи комплексного оцінювання ефективності PR-діяльності. Доцільним є визначення чітких індикаторів результативності, поєднання кількісних і якісних критеріїв, регулярне проведення аудиту комунікаційної діяльності та публічне оприлюднення його результатів. Це сприятиме підвищенню

підзвітності органів влади та стимулюватиме вдосконалення комунікаційних стратегій.

У цілому вдосконалення системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні передбачає не лише формування цілісної комунікаційної політики, інтегрованої у стратегічне управління державою, а також запровадження комплексного підходу до організації комунікаційних процесів на всіх рівнях влади. Це включає стандартизацію процедур взаємодії з громадськістю, професійну підготовку фахівців, активне використання цифрових платформ і аналітичних інструментів та систематичне оцінювання ефективності PR-діяльності. Перехід до відкритої, аналітично обґрунтованої та технологічно забезпеченої моделі комунікації здатний, по-перше, підвищити ефективність реалізації публічної політики, а по-друге, сприяти формуванню партнерських відносин між органами влади та громадянами, зміцнити рівень довіри суспільства до державних інституцій та забезпечити стабільний і прогнозований розвиток публічного управління в умовах сучасних соціальних, економічних і технологічних трансформацій.

Висновки. Отже, ефективний розвиток системи зв'язків з громадськістю у публічному управлінні потребує комплексного та стратегічного підходу, який включає інституційне зміцнення комунікаційних служб, стандартизацію процедур, розвиток професійних компетенцій державних службовців та застосування цифрових і аналітичних інструментів. Зарубіжний досвід США та країн ЄС демонструє ефективність інтеграції PR у процес прийняття рішень і формування публічного бренду органів влади, що підвищує прозорість, підзвітність та довіру громадян, а також сприяє адаптації управлінських рішень до потреб суспільства.

Список використаних джерел

1. Захарін В. В., Захаріна О. В., Пазюк А. С. Механізми забезпечення відкритості та прозорості органів публічної влади. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2023. № 1. URL : https://nayka.com.ua/index.php/dy/article/view/998/1007

2. Захаріна О. В., Діденко І. В. Механізми врегулювання конфлікту інтересів на державній службі: європейські практики та їх роль у формуванні професійного бренду державного службовця. *«Актуальні питання у сучасній науці». Серія «Управління та адміністрування»*. 2025. № 12 (42). URL : https://perspectives.pp.ua/index.php/sn/issue/archive

3. Захаріна О. В., Карпінський А. Л. Бренд в системі публічного управління. *Інвестиції: практика та досвід.* 2025. № 5. С. 225-231. URL : https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5956/6019

4. Захаріна О. В., Стебловська І. Л. Публічні комунікації як механізм підвищення прозорості діяльності державних установ. *«Інвестиції: практика та досвід».* 2025. № 19. URL : https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/issue

5. Публічне управління та адміністрування : навч. посіб. / за заг. ред. В. П. Якобчук. Київ : Видавництво Ліра-К. 2025. 476 с.

References

1. Zakharin, V. V., Zakharina, O. V., Paziuk, A. S. (2023). Mekhanizmy zabezpechennia vidkrytosti ta prozorosti orhaniv publichnoi vlady [Mechanisms for ensuring openness and transparency of public authorities]. *Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok – Public Administration: Improvement and Development*, 1. Retrieved from https://nayka.com.ua/index.php/dy/article/view/998/1007 [in Ukrainian].

2. Zakharina, O. V., Didenko, I. V. (2025). Mekhanizmy vrehuliuvannia konfliktu interesiv na derzhavnij sluzhbi: ievropejs'ki praktyky ta ikh rol' u

formuvanni profesijnoho brendu derzhavnoho sluzhbovtsia [Mechanisms for resolving conflicts of interest in public service: European practices and their role in shaping the professional brand of civil servants]. *Aktual'ni pytannia u suchasnij nautsi. Seriia Upravlinnia ta administruvannia – Current Issues in Modern Science. Series: Management and Administration*, 12. Retrieved from https://perspectives.pp.ua/index.php/sn/issue/archive [in Ukrainian].

3. Zakharina, O. V., Karpins'kyi, A. L. (2025). Brend v systemi publichnoho upravlinnia [Branding in the system of public administration]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investments: Practice and Experience*, 5, 225-231. Retrieved from https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5956/6019 [in Ukrainian].

4. Zakharina, O. V., Steblovs'ka, I. L. (2025). Publichni komunikatsii iak mekhanizm pidvyschennia prozorosti diial'nosti derzhavnykh ustanov [Public communications as a mechanism for increasing the transparency of government institutions]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investments: Practice and Experience*, 19. Retrieved from https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/issue [in Ukrainian].

5. Publichne upravlinnia ta administruvannia: navchalnyi posibnyk [Public Administration and Management: Textbook] / Za zah. red. V. P. Yakobchuk. (2025). Kyiv: Vydavnytstvo Lira-K. 476 p. [in Ukrainian].

Каніфольський Олександр Олегович, кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри «Суднобудування і судноремонту ім. професора Ю.Л. Воробйова», Одеса, Україна, https://orcid.org/0000-0001-7288-4835

Васильченко Олександра Євгеніївна, Одеський національний морський університет, старший викладач кафедра «Суднобудування і судноремонту ім. професора Ю.Л. Воробйова», Одеса, Україна, https://orcid.org/0009-0000-7282-2458

Александровська Надія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри «Суднобудування і судноремонту ім. професора Ю.Л. Воробйова», Одеса, Україна, https://orcid.org/0000-0001-6591-2068

Kanifolskyi Oleksandr, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Odesa National Maritime University, Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair named after Professor Yu.L. Vorobyov, Odesa, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-7288-4835

Vasylchenko Oleksandra, Odesa National Maritime University, Senior Lecturer at the Department of Shipbuilding and Ship Repair named after Professor Yu.L. Vorobyov, Odesa, Ukraine. https://orcid.org/0009-0000-7282-2458

Aleksandrovska Nadiia, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Odesa National Maritime University, Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair named after Professor Yu.L. Vorobyov, Odesa, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-6591-2068

ДОСЛІДЖЕННЯ М’ЯКИХ ВІТРИЛ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКОВОЇ СИЛИ ТЯГИ НА СУДНІ

THE STUDIES OF SOFT SAILS TO CREATE ADDITIONAL THRUST FORCE ON A VESSEL

Анотація

В статті розглянуті дані досліджень, що були проведені в CE Delft та Одеському національному морському університеті (ОНМУ). Проведено порівняння жорсткого вітрила типу Wingsail, повітряного змія Towing kite, дослідження яких було проведено в CE Delft та м'яких вітрил типу спінакер, які досліджувалися в аеродинамічній лабораторії ОНМУ. Типи суден, використані в розрахунках – це балкер, довжиною 107 м та багатоцільове судно для перевезення генеральних вантажів та контейнерів, довжиною 135 м. Розраховано середнє значення збереженої потужності для всіх типів, описаних вітрил. Наведено приклад розкрою вітрила типу спінакер. Запропоновано графіки залежності тяги вітрила від кута атаки.

Ключові слова: Wingsail, жорстке вітрило, спінакер, Towing kite, додаткова сила тяги.

Abstract

The article reviews the data of research conducted at CE Delft and Odesa National Maritime University (ONMU). A comparison is made of the rigid sail Wingsail, Kite, researched at CE Delft, and the soft sails of the Spinnaker type, which were studied in the wind tunnel of ONMU. The types of vessels used in the calculations are a bulk carrier, 107 m long, and a multi-purpose vessel for the transportation of general cargo and containers, 135 m long. The average value of the power saving for all types of described sails is calculated. An example of the designing of the Spinnaker type sail is given. Graphs of the dependence of the sail thrust on the angle of attack are proposed.

Keywords: Wingsail, rigid sail, spinnaker, Towing kite, additional thrust.

*Постановка проблеми***.** В сучасній морській галузі велика увага приділяється захисту навколишнього середовища. Додаток VI «Regulations for the prevention of air pollution from ships» до конвенції МАРПОЛ пропонує декілька коефіцієнтів, наприклад: EEDI (Energy Efficiency Design Index) [1], EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) [2] та CII (Carbon Intensity Indicator) [3]. Всі ці індекси прямо, або по дотичній пов'язані з можливістю використання альтернативних джерел енергії, для зменшення викидів вуглекислого газу. В якості альтернативної, додаткової сили тяги може бути використане вітрило. Цікаві дослідження були проведені в CE Delft, які стосувалися оцінки збереженої потужності (потужності, яку створює вітрило, або інший засіб). В якості засобів, що створюють додаткову тягу розглядалися: Wingsail, Towing kite, Wind turbine. Вітрила м'якого типу не розглядалися. В аеродинамічній лабораторії ОНМУ було проведено дослідження м'яких вітрил типів спінакер та спанкер. З'явилася можливість порівняння даних досліджень CE Delft та результатів досліджень, проведених в ОНМУ. Всі наведені типи засобів, для створення додаткової сили тяги мають свої переваги та недоліки, тому в сучасній морській індустрії необхідно мати інформацію, про можливості їхнього використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [5] дослідженні проаналізовано використання вітру як відновлюваного джерела енергії для морського транспорту з метою зниження споживання палива та викидів CO_2. Основними завданнями роботи є визначення бар'єрів розвитку і впровадження технологій вітрової допоміжної тяги на суднах, оцінка їх ринкового та екологічного потенціалу, а також аналіз пов'язаних економічних і соціальних ефектів.

У результаті дослідження ідентифіковано три ключові бар'єри: нестачу достовірної та незалежної інформації щодо експлуатаційних, технічних і економічних характеристик вітрових пропульсивних технологій; обмежений

доступ до капіталу для створення та випробування повномасштабних демонстраторів; недостатні стимули для підвищення енергоефективності суден і скорочення викидів CO_2. Показано, що ці бар'єри тісно взаємопов'язані та формують «проблему курки і яйця», коли відсутність перевірених даних унеможливлює залучення інвестицій, а нестача фінансування, у свою чергу, перешкоджає отриманню таких даних.

Для подолання зазначених обмежень запропоновано розроблення стандартизованої методики оцінювання вітрових пропульсивних технологій, поєднаної з випробуваннями на реальних тестових кейсах. Така методика має бути узгоджена з технічними настановами EEDI, але водночас включати не лише оцінку доступної ефективної потужності, а й реальні паливні заощадження на основі експлуатаційних даних.

Розрахунки потенціалу економії потужності виконано для чотирьох типів вітрових технологій, шести типових суден і двох швидкісних режимів із використанням профілів рейсів AIS. Результати показали, що роторні системи та жорсткі вітрила (wingsails) забезпечують подібні й значні відносні заощадження, тоді як ефективність буксированого повітряного змія (towing kite) є вищою для менших суден і нижчою для більших. Важливим висновком є те, що для wingsail і роторів абсолютні паливні заощадження зростають із підвищенням швидкості судна, що спростовує поширене припущення про необхідність зниження швидкості для досягнення економічної доцільності вітрової тяги.

В роботі [6] був зробел огляд наукової літератури та практичних впроваджень вітрових технологій у судноплавстві (2020 і раніше), підготовлений у межах європейського проєкту WASP, що реалізується у рамках Interreg North Sea Region Programme, але там було приклади реального використання вітрових систем на морських суднах, а також

оцінити поточні технології, ринкову ситуацію й інновації, а не на моделях в лабораторних умовах.

У 2022 році згідно інформаційному документу, поданий на розгляд 79-ї сесії MEPC (IMO), який детально висвітлює потенціал і роль вітрової допоміжної тяги (Wind Propulsion Technologies, WPTs) у досягненні цілей IMO щодо скорочення викидів парникових газів у морському транспорті [7] закликає розробити єдину методику оцінки ефективності WPT, ураховану у рамках CII, EEDI та EEXI; створити платформу технічного діалогу між країнами-членами IMO, розробниками та судновласниками та підтримати включення WPT у національні плани скорочення викидів парникових газів у секторі морських перевезень.

В роботі [8] найбільш повне на сьогодні системне дослідження потенціалу, ефективності, бар'єрів і нормативного контексту для впровадження вітроасистованого руху (WASP) у європейському та глобальному морському флоті.

Робота [9] - приклад прикладного техніко-економічного дослідження, присвяченого оцінці ефективності retrofit-проєкту з впровадження вітрової допоміжної тяги (WASP) на танкері. Автори застосували оптимізаційні алгоритми, аеродинамічне моделювання та економічні сценарії для визначення, коли і як вигідно встановлювати вітрові системи на судно, яке вже перебуває в експлуатації.

Метою даного дослідження є порівняння додаткової сили тяги та додаткової потужності, що створюється різними типами засобів, створеними для використання сили та енергії вітру.

Основна частина статті. Дослідження проводились в аеродинамічній лабораторії ОНМУ, яка має наступні параметри. Велика аеродинамічна труба має закритий контур із відкритою робочою частиною. Розміри: довжина 25,4 м; ширина – 3,0 м; висота – 3,6 м. Довжина робочої частини –

3,0 м, діаметр – 1,75 м. Повітряний гвинт приводиться у обертання електродвигуном постійного струму потужністю 220 кВт. Номінальна частота обертання може змінюватись у широких межах, при цьому максимальна швидкість повітряного потоку досягає 100 м/с, а мінімальна – 8 м/с (рис. 1).

Моделі вітрил. Для випробувань, в лабораторії ОНМУ, було виготовлено п'ять моделей м'яких вітрил [4]. З них - чотири вітрила типу спінакер, що відрізняються один від одного кривизною і розгорнутою площею, а також одна модель трикутного вітрила типу спанкер.



Рис. 1. Велика аеродинамічна труба ОНМУ

Всі моделі вітрил виконані з нейлону. Для аналізу, в цій статті, обрані дані досліджень для спінакеру, площею 500 м^2. Вітрило з такою площею можна порівняти з даними CE Delft для Towing kite, який має подібну площу. Модель спінакера, номер 4, яка обрана для дослідження показана на рисунку 2. Дані вітрил наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри моделей вітрил

Найменування вітрила	S_n, м^2	SPIN, м	SL, м	SMW, м	IC, м
Спінкер 1	0,072	0,052	0,33	0,28	0,156
Спінкер 2	0,095	0,068	0,38	0,32	0,176
Спінкер 3	0,057	0,034	0,29	0,21	0,117
Спінкер 4	0,089	0,068	0,42	0,29	0,161
Спанкер	0,082	-	-	-	-

$$SPIN = 1{,}01ICSL \tag{1}$$

SPIN - обмірна площа спінакера, м^2;

SL - довжина бічної шкаторини, м;

SMW – максимальна ширина спінакера, м;

IC - основа переднього трикутника, м.

Зв'язок між цими параметрами визначається наступною формулою [4]:

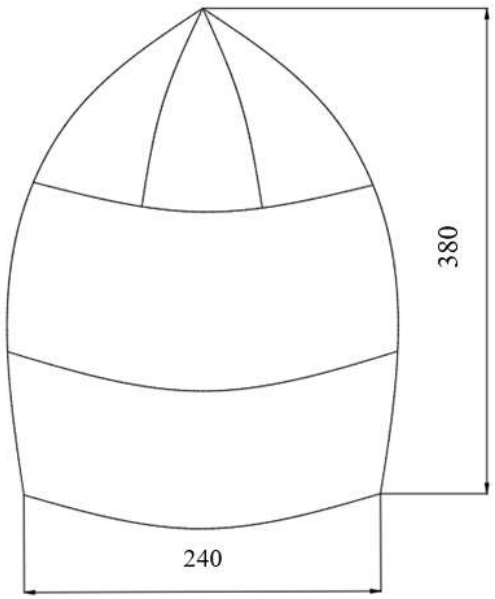


Рис. 2. Модель спінакера

Результати досліджень, для спінакера 4, представлені у вигляді залежності коефіцієнта тяги C_x від кута атаки α_B на рисунку 3.

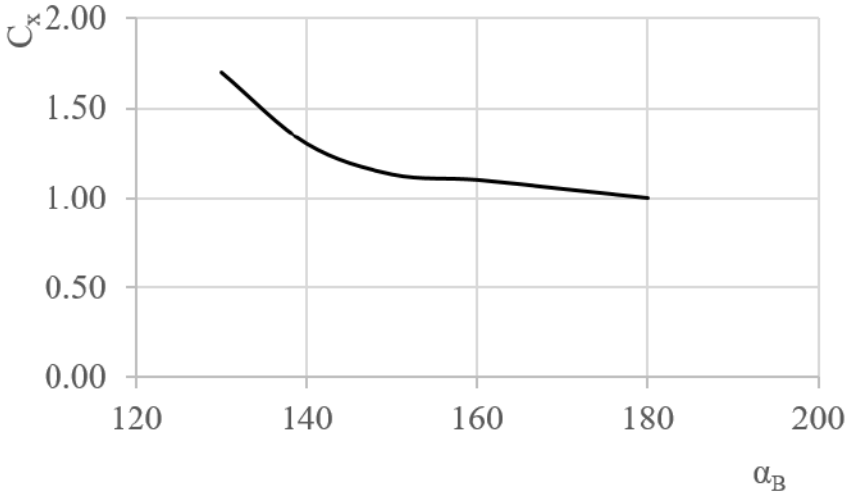


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тяги C_x від кута атаки α_B

Додаткова сила тяги визначається за формулою

$$t = n\frac{C_x(\alpha_B)\rho S_n v_B^2}{2}\cos\alpha_B \qquad (2)$$

n - кількість однакових вітрил;

$C_x(\alpha_B)$ - коефіцієнт тяги, (рис.3);

ρ - щільність повітря;

S_n - площа вітрила, м^2;

v_B - швидкість вимпельного вітру.

Значення додаткової сили тяги, розраховане за формулою (2) показано на рисунку 4.

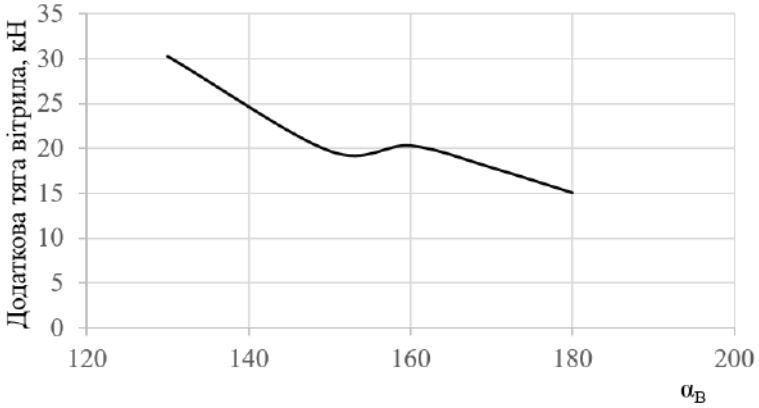


Рис. 4. Залежність додаткової сили тяги від кута атаки α_B

Значення збереженої потужності розраховано за пропозицією CE Delft [5] по формулі

$$P_{saved} = \frac{tv_{ship}}{\eta_p} \tag{3}$$

v_{ship} - швидкість судна;

t - додаткова тяга вітрила;

η_p =0,7 - коефіцієнт корисної дії.

За даними CE Delft розраховані середні значення збереженої потужності, для подібних, в дослідженнях ОНМУ та CE Delft, суден, таблиця 2. Значення збереженої потужності, отримані в лабораторії ОНМУ відображені на рисунку 5.

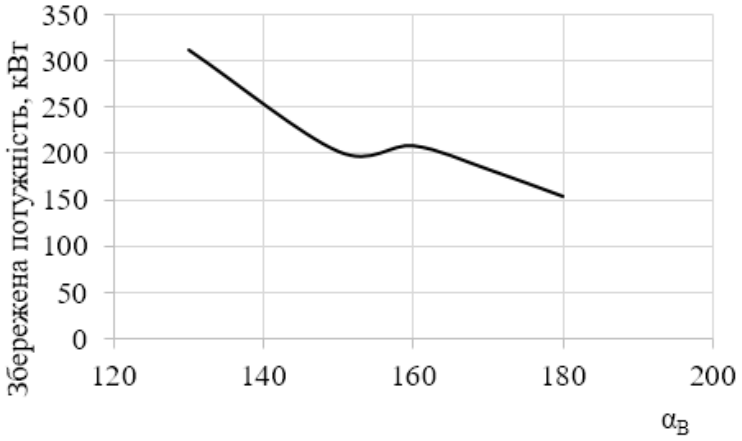


Рис. 5. Залежність збереженої потужності від кута атаки α_B

Таблиця 2

Характеристики суден та середнє значення збереженої потужності

Судно	Довжина, м	Ширина, м	Висота борту, м	v_{ship} вузл.	Середнє значення збереженої потужності $P_{saved} = \frac{tv_{ship}}{\eta_p}$, кВт		
					Спінакер, 500 м^2 (1 шт.)	Wingsail 270 м^2 (3 шт.)	Towing kite 400 м^2 (1 шт.)
ОНМУ	135	23	11,4	14	256	-	-
CE Delft	107	18	9	13,25	-	170	300

Висновки. Як видно з наведених розрахунків, м’яке вітрило типу спінакер може достойно конкурувати з іншими видами допоміжних вітрил. Враховуючи можливість застосування пристрою для швидкої постановки та прибирання цього парусу і відповідно можливість збереження вільних просторів на палубі, цей тип допоміжного вітрила може бути успішно використаний в морській практиці.

Список використаних джерел

1. Resolution MEPC.350(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI).

2. Resolution MEPC.214(63). 2012 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI).

3. Resolution MEPC.354(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII rating guidelines, G4).

4. Звіт про науково-дослідну роботу № 01890009570. Вирішення практичних задач по забезпеченню ходових та морехідних якостей суден та плавучих об'єктів Чорноморського морського пароплавства. Одеський інститут інженерів морського флоту. 1989.

5. Dagmar Nelissen, Michael Traut, Jonathan Köhler, Wengang Mao, Jasper Faber, Saliha Ahdour. Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships. Delft, CE Delft, November 2016.

6. WASP Project. D 5.B New Wind Propulsion Technology: A Literature Review of Recent Adoptions. 2020. 38 p. URL: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210111083115_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf (дата звернення: 12.12.2025). VB/NSRP Online Monitoring System+1

7. International Maritime Organization. Marine Environment Protection Committee. MEPC 79/INF.21: Wind Propulsion. 07.10.2022. 34 p. URL: https://www.wind-ship.org/archived-site/wp-content/uploads/2022/10/MEPC-79-INF.21-Wind-Propulsion-Finland-France-Saudi-Ar....pdf (дата звернення: 12.12.2025).

8. European Maritime Safety Agency. Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping. Lisbon: EMSA, 2023. 272 p. URL:

https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5078-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping.html (дата обращения: 12.12.2025); PDF: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping_2023_11.pdf (дата звернення: 12.12.2025). emsa.europa.eu+2SAFETY4SEA+2

9. Reche-Vilanova M., Bingham H. B., Fluck M., Morris D. Cost–benefit analysis and design optimization of wind propulsion systems for a tanker retrofit case // Maritime Transport Research. 2025. Vol. 8. Art. 100132. DOI: 10.1016/j.martra.2025.100132. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X25000048 (дата звернення: 12.12.2025). ScienceDirect+2ResearchGate+2

References

1. Resolution MEPC.350(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI).

2. Resolution MEPC.214(63). 2012 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI).

3. Resolution MEPC.354(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII rating guidelines, G4).

4. Report on scientific research work No. 01890009570. Solving practical problems in ensuring the propulsion and seaworthiness of ships and floating objects of the Black Sea Shipping Company. Odesa Institute of Marine Engineers. 1989.

5. Dagmar Nelissen, Michael Traut, Jonathan Köhler, Wengang Mao, Jasper Faber, Saliha Ahdour. Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships. Delft, CE Delft, November 2016.

6. WASP Project. D 5.B New Wind Propulsion Technology: A Literature Review of Recent Adoptions. 2020. 38 p. URL: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210111083115_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf

7. International Maritime Organization. Marine Environment Protection Committee. MEPC 79/INF.21: Wind Propulsion. 07.10.2022. 34 p. URL: https://www.wind-ship.org/archived-site/wp-content/uploads/2022/10/MEPC-79-INF.21-Wind-Propulsion-Finland-France-Saudi-Ar....pdf

8. European Maritime Safety Agency. Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping. Lisbon: EMSA, 2023. 272 p. URL: https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5078-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping.html

(дата звернення: 12.12.2025); PDF: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping_2023_11.pdf

9. Reche-Vilanova M., Bingham H. B., Fluck M., Morris D. Cost–benefit analysis and design optimization of wind propulsion systems for a tanker retrofit case // Maritime Transport Research. 2025. Vol. 8. Art. 100132. DOI: 10.1016/j.martra.2025.100132 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X25000048

Коломоєць Аліна Миколаївна, викладач кафедри психології діяльності в особливих умовах, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна, https://orcid.org/0009-0008-6073-466X

Черненко Олександр Миколайович, кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри психології діяльності в особливих умовах, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна, https://orcid.org/0000-0002-8621-3175

Вовк Неля Павлівна, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри психології діяльності в особливих умовах, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна, https://orcid.org/0000-0001-6601-7030

Kolomoiets Alina Mykolaivna, tutor of the Department of Psychology of Activity in Special Conditions, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0009-0008-6073-466X

Chernenko Oleksandr Mykolayovych, candidate of Medical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Psychology of Activity in Special Conditions, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-8621-3175

Vovk Nelia Pavlivna, candidate of Pedagogic Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Psychology of Activity in Special Conditions, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-6601-7030

ПСИХОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦІВ ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

PSYCHOLOGICAL CHALLENGES OF THE PROFESSIONAL ACTIVITY OF PRE-MEDICAL CARE SPECIALISTS UNDER MARTIAL LAW

Анотація

У статті здійснено комплексний теоретичний аналіз психологічних викликів професійної діяльності фахівців домедичної допомоги в умовах воєнного стану. Особливу увагу приділено феномену моральної травми (moral injury), морального дистресу, емоційного виснаження та професійного вигорання, що виникають унаслідок triage-дилем, дефіциту ресурсів, повторних загроз безпеці та кумулятивного впливу травматичних подій. Показано, що моральні конфлікти, пов’язані з прийняттям рішень у ситуаціях масових уражень, формують специфічну структуру психологічного навантаження, у якій домінують провина, сором, самозасудження та втрата сенсу [1–3]. Обґрунтовано роль морального дистресу як передумови розвитку моральної травми [4]. Визначено психологічні маркери професійної дезадаптації та окреслено напрями профілактики в межах навчальної дисципліни «Домедична підготовка», зокрема етичну підготовку, командну рефлексію, травмо-інформовану супервізію та практики морального відновлення [5–8].

Ключові слова: домедична допомога, психологічна стійкість, моральна травма, moral injury, моральний дистрес, triage, воєнний стан, служби першого реагування.

Abstract

The article provides a comprehensive theoretical analysis of the psychological challenges of the professional activity of pre-hospital care specialists under martial law. Special attention is paid to the phenomenon of moral

injury, moral distress, emotional exhaustion, and professional burnout arising as a result of triage dilemmas, resource shortages, repeated security threats, and the cumulative impact of traumatic events. It is shown that moral conflicts associated with decision-making in mass casualty situations form a specific structure of psychological burden, dominated by guilt, shame, self-condemnation, and loss of meaning [1–3]. The role of moral distress as a prerequisite for the development of moral injury is substantiated [4]. Psychological markers of professional maladaptation are identified, and directions for prevention within the academic discipline “Pre-hospital Training” are outlined, including ethical training, team reflection, trauma-informed supervision, and practices of moral recovery [5–8].

Keywords: pre-medical care, psychological resilience, moral injury, moral injury, moral distress, triage, martial law, first responder services.

Постановка проблеми. Професійна діяльність фахівців домедичної допомоги в умовах воєнного стану здійснюється в середовищі підвищеного ризику, хронічної невизначеності, дефіциту матеріальних і часових ресурсів та постійної загрози життю. Рятувальники, медичні працівники, волонтери та інші представники служб першого реагування змушені приймати швидкі рішення в умовах обмеженої інформації, фізичного та емоційного виснаження.

У таких умовах професійна ефективність визначається не лише знанням алгоритмів, а й здатністю підтримувати стабільність уваги, керувати стресовою реакцією, діяти в рамках протоколів і водночас залишатися гнучким. Хронічна невизначеність («чи буде повторний обстріл», «чи вистачить ресурсів», «чи встигне евакуація») формує стан постійної мобілізації, який біологічно виснажує нервову систему і підвищує ризик вигорання.

Особливу складність становлять етично навантажені ситуації, пов'язані з пріоритизацією постраждалих, евакуацією, припиненням реанімаційних заходів, вибором між власною безпекою та наданням допомоги. Подібні рішення часто суперечать гуманістичним цінностям і професійній ідентичності фахівця, що створює внутрішній конфлікт між моральними переконаннями та об'єктивними обставинами діяльності [1, 2]. Етичне навантаження посилюється тим, що рішення часто приймаються в умовах дефіциту часу і з мінімальною можливістю «перевірити себе», а наслідки можуть бути незворотними. Крім того, фахівець може одночасно бути і «виконавцем рішення», і «свідком страждання», і «частиною системи», яка не здатна забезпечити достатній ресурс. Це формує багаторівневий конфлікт: між бажанням допомогти, необхідністю діяти за протоколом та обмеженнями реальності.

У разі відсутності системної психологічної підтримки та належної підготовки такі конфлікти накопичуються, трансформуючись у хронічні порушення емоційного стану, професійне вигорання, зниження емпатії та втрату сенсу професійної діяльності.

Зниження емпатії у цьому випадку нерідко має характер захисної реакції: психіка «вимикає» глибоке співпереживання, щоб зберегти функціональність. Однак довготривало це може призводити до деперсоналізації, емоційної відчуженості у стосунках, конфліктів у команді та внутрішнього відчуття «я став (ла) іншим/іншою». Втрата сенсу проявляється як відчуття марності зусиль, сумніви у цінності професії, падіння мотивації й відсутність перспективи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Феномен моральної травми був систематизований у працях B. Litz та співавт., де moral injury розглядається як наслідок переживання потенційно морально травмуючих подій (PMIEs), пов'язаних із порушенням глибинних моральних очікувань

особистості [1]. Центральними компонентами moral injury виступають почуття провини, сорому, гніву та втрати довіри.

Для домедичної сфери важливими є два механізми: 1) **комісія/омісія** (дія/бездіяльність), коли саме «мій вибір» стає ядром внутрішнього самозвинувачення; 2) свідчення подій, коли фахівець бачить страждання або смерть і не має змоги змінити ситуацію. У другому випадку моральне напруження часто поєднується з безпорадністю, що також підвищує ризики дезадаптації.

J. Shay акцентує увагу на тому, що моральна травма формується внаслідок переживання «зради того, що є правильним» у ситуаціях високої відповідальності та моральної напруги [2]. Подальші дослідження довели, що moral injury є поширеним явищем не лише серед військовослужбовців, а й серед медичних працівників, рятувальників та волонтерів [3].

У професіях допомоги моральна травма часто має «тиху» клінічну форму: зовні людина може зберігати функціонування, але внутрішньо переживати сором, провину, втрату довіри до себе чи системи. Це ускладнює звернення по допомогу, оскільки фахівці можуть соромитися власних переживань або трактувати їх як «слабкість».

Значну увагу приділено поняттю морального дистресу — психологічному стану, за якого фахівець усвідомлює етично правильну дію, але не може її реалізувати через зовнішні обмеження [4]. Хронічний моральний дистрес виступає одним із ключових чинників розвитку moral injury.

Типові джерела морального дистресу в домедичній практиці: нестача оснащення; правила безпеки, що обмежують доступ до постраждалого; логістичні затримки евакуації; потреба зупинитися через ризик для команди. Усе це може викликати внутрішній діалог: «Я повинен/повинна був (ла) зробити більше», навіть якщо об’єктивно можливостей не було.

Оглядові дослідження свідчать про тісний зв'язок моральної травми з депресією, тривожними розладами, посттравматичними симптомами та вигоранням серед first responders [5, 6].

Важливим напрямом досліджень є аналіз triage-протоколів (SALT, START), які регламентують прийняття рішень у ситуаціях масових уражень [7, 8], а також тактичних алгоритмів домедичної допомоги (MARCH) [9, 10].

Протоколи не лише «організовують роботу», але й виконують психологічну функцію: вони створюють опору, зменшують хаос і частково знижують моральну вагу вибору, переводячи його у формат «рішення за стандартом». Проте навіть за наявності протоколів внутрішній конфлікт може зберігатися, якщо фахівець сприймає правила як такі, що «суперечать людяності».

Мета статті. Метою статті є теоретичне обґрунтування психологічних викликів професійної діяльності фахівців домедичної допомоги в умовах воєнного стану, визначення механізмів формування моральної травми та розроблення профілактичних підходів у межах професійної підготовки.

З огляду на практичну спрямованість домедичної підготовки, особливо важливо поєднати психологічні висновки з навчальними інструментами: кейс-розборами, симуляційними сценаріями, мікронавичками саморегуляції, протоколами командної взаємодії та післяінцидентними форматами обговорення.

Методика дослідження. У роботі застосовано такі методи:

- теоретичний аналіз наукових публікацій з проблем moral injury, moral distress та професійного стресу [1–6];

- порівняльний аналіз triage-протоколів SALT та START [7, 8];

- систематизація психологічних маркерів дезадаптації у сфері домедичної допомоги [5, 6, 9];

- узагальнення міждисциплінарних підходів до психологічної підтримки фахівців екстремального профілю.

Теоретичний характер роботи дозволяє інтегрувати результати з різних професійних контекстів (військовий, медичний, рятувальний), виділяючи спільні механізми та роблячи їх придатними для навчальних програм. Порівняльний аналіз протоколів (SALT/START/MARCH) також розкриває, як стандартизація дій впливає на моральну відповідальність та суб'єктивне відчуття контролю.

Обговорення результатів

1. **Домедична допомога як середовище підвищеного психологічного ризику.**

У воєнних умовах домедична допомога характеризується постійним обмеженням вибору та необхідністю прийняття рішень у дефіциті ресурсів. Логіка triage передбачає пріоритизацію постраждалих, що вступає у конфлікт із гуманістичною моделлю «врятувати кожного» [1, 4].

Психологічно triage створює «парадокс допомоги»: щоб максимально підвищити кількість врятованих, доводиться відкладати чи обмежувати допомогу тим, хто потребує її негайно, але має нижчі шанси на виживання за наявних умов. Це може сприйматися як особиста моральна поразка, навіть якщо з точки зору системи — це оптимальне рішення.

До найбільш психологічно складних ситуацій належать:

- triage у масових ураженнях [7, 8];
- затримка допомоги через небезпеку;
- рішення commission/omission [1, 2];
- професійна безпорадність через нестачу ресурсів [5];
- багаторазовий контакт зі смертю та тяжкими пораненнями.

Кожен із перелічених факторів може запускати різні типи реакцій: triage - провину/сором; затримка через небезпеку - конфлікт між

професійним обов'язком і самозбереженням; commission/omission - токсичне самозвинувачення; дефіцит ресурсів - фрустрацію й безпорадність; повторний контакт зі смертю - емоційне виснаження та «знечулення» як захисну реакцію.

Ці чинники формують високий рівень морального та емоційного напруження. Хронічне напруження проявляється також на фізіологічному рівні: порушення сну, соматичні скарги, підвищена дратівливість, зниження концентрації, що у свою чергу впливає на якість рішень і комунікацію у команді.

2. Психологічні механізми формування моральної травми.

Відповідно до моделі Litz, ключовим механізмом moral injury є конфлікт між пережитою подією та системою внутрішніх цінностей [1]. Після травматичної події формуються негативні когнітивні схеми:

- «Я винен»;

- «Я недостатньо зробив»;

- «Я зрадив своїм принципам».

Ці схеми часто стають «якорями» моральних румінацій: людина знову і знову повертається до одного рішення, програє альтернативні варіанти, шукає «правильний» вихід заднім числом. У цьому процесі суб'єктивна відповідальність може розширюватися («я винен у всьому»), тоді як реальні зовнішні обмеження ігноруються.

Ці переконання підтримують самозасудження, емоційне уникання та соціальну ізоляцію. Соціальна ізоляція посилюється тим, що фахівці часто не хочуть «обтяжувати» близьких деталями пережитого або відчувають, що їх «не зрозуміють». У професійному середовищі перешкодою може бути культура мовчання або страх стигматизації.

У домедичному контексті зазначені механізми посилюються:

- дефіцитом часу;

- кумулятивним характером втрат;

- відсутністю можливостей для емоційної розрядки;

- організаційними проблемами [5, 6].

Організаційні проблеми (нестача підтримки, нечіткі ролі, конфлікти в команді, відсутність справедливого розподілу навантаження) можуть сприйматися як «зрада системи», що підсилює гнів і недовіру — важливі компоненти moral injury. Водночас саме організаційна підтримка здатна суттєво знижувати інтенсивність морального дистресу.

3. Маркери психологічної дезадаптації.

До основних проявів моральної травми належать:

- нав'язливі моральні румінації [1, 2];

- домінування провини та сорому [3];

- емоційне притуплення;

- професійний цинізм;

- деперсоналізація;

- зниження мотивації;

- симптоми вигорання [5, 6].

На поведінковому рівні ці маркери можуть проявлятися як уникання певних типів викликів, небажання брати відповідальність, підвищена конфліктність, різкі реакції на критику, а також як «тунельне мислення» під час стресу. У комунікації з колегами іноді з'являються сарказм, відстороненість або «холодна» манера, що є сигналом виснаження.

Раннє виявлення цих ознак має стати складовою системи психологічного супроводу.

Важливо, щоб раннє виявлення не зводилось до формальних опитувальників, а включало культуру командної турботи, регулярні короткі чек-іни, можливість конфіденційних консультацій та чіткі маршрути скерування до фахівця з психічного здоров'я.

4. Профілактика та психологічна підтримка.

Профілактика моральної травми має базуватися на комплексному підході, що включає:

- формування етичної грамотності;
- навчання командному прийняттю рішень;
- розвиток навичок саморегуляції;
- супервізію та наставництво;
- впровадження практик meaning-making;
- роботу з почуттям провини та сорому [1, 5, 6].

Етична грамотність передбачає не тільки знання принципів triage, а й розуміння «етики дефіциту»: як зберегти людяність, діючи у жорстких обмеженнях. Командне прийняття рішень знижує ризик персоніфікації провини («це тільки я вирішив/ла») і підтримує відчуття спільної відповідальності. Саморегуляція включає короткі протоколи стабілізації (дихання, заземлення, м'язову релаксацію), які можна застосувати між епізодами роботи. Meaning-making і моральне відновлення спрямовані на повернення сенсу, відновлення довіри до себе та зменшення токсичного сорому.

Важливою є інтеграція цих компонентів у навчальні програми. Практично це може реалізовуватись через кейс-метод (розбір етичних дилем), симуляції масових уражень, модулі про моральний дистрес, а також через обов'язкові навички командного «after-action review» як безпечного формату обговорення рішень без звинувачення.

Висновки. Професійна діяльність фахівців домедичної допомоги в умовах воєнного стану супроводжується високим ризиком розвитку моральної травми, зумовленої triage-дилемами, дефіцитом ресурсів і кумулятивним контактом із людськими втратами. Основними проявами є провина, сором, самозасудження, втрата сенсу та професійна дезорієнтація

[1–3]. Важливо, що ці прояви можуть не усвідомлюватися як «психологічна проблема», а маскуватися під втому, роздратування, зниження емпатії, конфліктність або соматичні симптоми. Саме тому необхідні чіткі профілактичні маршрути та нормалізація звернення по психологічну допомогу в професійному середовищі.

Профілактика моральної травми має бути невід'ємною складовою освітнього процесу.

Командні розбори мають бути структурованими (що планували, що сталося, що спрацювало, що змінити), без пошуку «винних», з окремим простором для емоційної реакції. Травмо-інформована супервізія повинна враховувати особливості роботи у загрозі та уникати стигматизації. Практики морального відновлення можуть включати нормалізацію обмежень, вправи на самоспівчуття, реконструкцію сенсу, «моральну репарацію» (дії, що повертають відчуття відповідності цінностям), а також підтримку з боку лідерів і колег.

Реалізація цих заходів сприятиме збереженню психічного здоров'я, підвищенню професійної надійності та довготривалої стійкості служб першого реагування [8, 9, 10].

Список використаних джерел

1. Litz B. T., Stein N., Delaney E., Lebowitz L., Nash W. P., Silva C., & Maguen, S. (2009). Moral injury and moral repair in war veterans: A preliminary model and intervention strategy. *Clinical Psychology Review, 29*(8), 695–706. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.07.003

2. Shay J. (2014). Moral injury. U. S. Department of Veterans Affairs. https://www.ptsd.va.gov/professional/treat/cooccurring/moral_injury.asp

3. Koenig H. G. (2021). Moral injury: An increasingly recognized and widespread syndrome. *Journal of Religion and Health, 60*(5), 2989–3011. https://doi.org/10.1007/s10943-020-01009-9

4. Čartolovni A., Stolt M., Scott P. A., Suhonen R. (2021). Moral injury in healthcare professionals: A scoping review. *Nursing Ethics, 28*(4), 590–602. https://doi.org/10.1177/0969733020966776

5. Rimon A., et al. (2025). Moral injury among medical personnel and first responders across different healthcare and emergency response settings: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *22*(7), 1055. https://www.mdpi.com/1660-4601/22/7/1055

6. Maguen S., et al. (2023). Prevalence and correlates of moral injury in first responders. *Journal of Traumatic Stress, 36*(2), 345–356. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38300302

7. Lerner E. B., et al. (2008). Mass casualty triage: An evaluation of the data and development of a proposed national guideline. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 2*(1), 25–34. https://doi.org/10.1097/DMP.0b013e3181656b9c

8. Lin Y. K., et al. (2022). Evaluation of the START triage protocol. *American Journal of Emergency Medicine, 54*, 115–121. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35130942

9. Butler F. K., et al. (2022). Tactical combat casualty care. In *StatPearls*. Stat Pearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493172

10. Кравчук В., та ін. (2023). Застосування протоколу TCCC та алгоритму MARCH. Міністерство охорони здоров'я України. https://health.gov.ua/march-tccc-ukraine

References

1. Litz B. T., Stein N., Delaney E., Lebowitz L., Nash W. P., Silva C., & Maguen, S. (2009). Moral injury and moral repair in war veterans: A preliminary model and intervention strategy. *Clinical Psychology Review, 29*(8), 695–706. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.07.003

2. Shay J. (2014). Moral injury. U. S. Department of Veterans Affairs. https://www.ptsd.va.gov/professional/treat/cooccurring/moral_injury.asp

3. Koenig H. G. (2021). Moral injury: An increasingly recognized and widespread syndrome. *Journal of Religion and Health, 60*(5), 2989–3011. https://doi.org/10.1007/s10943-020-01009-9

4. Čartolovni A., Stolt M., Scott P. A., Suhonen R. (2021). Moral injury in healthcare professionals: A scoping review. *Nursing Ethics, 28*(4), 590–602. https://doi.org/10.1177/0969733020966776

5. Rimon A., et al. (2025). Moral injury among medical personnel and first responders across different healthcare and emergency response settings: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 22*(7), 1055. https://www.mdpi.com/1660-4601/22/7/1055

6. Maguen S., et al. (2023). Prevalence and correlates of moral injury in first responders. *Journal of Traumatic Stress, 36*(2), 345–356. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38300302

7. Lerner E. B., et al. (2008). Mass casualty triage: An evaluation of the data and development of a proposed national guideline. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 2*(1), 25–34. https://doi.org/10.1097/DMP.0b013e3181656b9c

8. Lin Y. K., et al. (2022). Evaluation of the START triage protocol. *American Journal of Emergency Medicine, 54*, 115–121. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35130942

9. Butler F. K., et al. (2022). Tactical combat casualty care. In *StatPearls*. Stat Pearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493172

10. Kravchuk V., et al. (2023). Application of the TCCC Protocol and the MARCH Algorithm. Ministry of Health of Ukraine. https://health.gov.ua/march-tccc-ukraine

Махнюк Валентина Михайлівна, доктор медичних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу профілактичної медицини Науково-дослідного інституту проблем військової медицини Української військово-медичної академії. м. Київ, Україна, ORCID ID 0000-0001-6196-4370

Коврига Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, заступник директора ТОВ «НДПІ Будтехекспертиза», м. Кривий Ріг, Україна, https://orcid.org/0000-0002-0189-4582

Махнюк Володимир Володимирович, аспірант кафедри менеджменту та публічного управління Державного податкового університету, м.Ірпінь, Україна, https//orcid.org/0000-0001-8757-9454

Makhniuk Valentyna, Doctor of medical sciences, professor, Senior Research Fellow of the department preventive medicine Research Institute of Military Medicine, Ukrainian Military Medical Academy. Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0001-6196-4370.

Kovryha Serhii, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of LLC "NDPI Budtechekspertyza", 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-0189-4582

Makhniuk Volodymyr, PhD Student of the Department of Management and Public Administration, State Tax University, Irpin, Ukraine, https//orcid.org/0000-0001-8757-9454

БЛАГОУСТРІЙ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ТА ІНСТИТУЦІЙНІ МОДЕЛІ МУНІЦИПАЛЬНОГО САНІТАРНОГО НАГЛЯДУ ЯК ЧИННИКИ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ТА СТАЛОГО УРБАНІЗМУ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

URBAN IMPROVEMENT AND INSTITUTIONAL MODELS OF MUNICIPAL SANITARY SUPERVISION IN SETTLEMENTS AS FACTORS OF PUBLIC HEALTH AND SUSTAINABLE URBANISM: EUROPEAN EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR UKRAINE

Анотація

У статті досліджується роль благоустрою населених пунктів і інституційних моделей муніципального санітарного нагляду як ключових детермінант громадського здоров'я та сталого урбаністичного розвитку в умовах сучасних викликів, зумовлених урбанізацією, кліматичними змінами, деградацією довкілля та зростанням соціально-екологічних ризиків. Обґрунтовано, що якість міського середовища, стан об'єктів благоустрою, ефективність санітарно-гігієнічного контролю та управління просторовим розвитком безпосередньо впливають на рівень захворюваності, тривалість і якість життя населення, а також соціальну стійкість громад. Проаналізовано сучасні європейські підходи до організації муніципального санітарного нагляду та управління міським середовищем на прикладі Великої Британії, Норвегії та Польщі. Встановлено, що характерними рисами ефективних моделей є децентралізація управлінських повноважень, міжсекторальна взаємодія органів місцевого самоврядування, служб громадського здоров'я та екологічного контролю, а також провідна роль медичних фахівців у процесах оцінки ризиків і прийняття управлінських рішень. Особливу увагу приділено превентивному характеру санітарного нагляду, інтеграції принципів «Health in All Policies» та реалізації концепції «здорових міст і громад».

Визначено, що в Україні система благоустрою та санітарно-гігієнічного контролю у сфері містобудування залишається

фрагментованою, з обмеженою участю фахівців громадського здоров'я та недостатньою координацією між інституціями. Це зумовлює потребу в модернізації нормативно-правового регулювання, посиленні ролі органів місцевого самоврядування та адаптації європейських інституційних практик з урахуванням національного контексту. Запропоновано напрями вдосконалення муніципальної політики громадського здоров'я в Україні як складової сталого урбанізму.

Ключові слова: благоустрій населених пунктів, муніципальний санітарний нагляд, громадське здоров'я та міське середовище, сталий урбанізм, здорові міста та громади, європейський досвід управління містом, урбаністичне управління у Великій Британії, муніципальні моделі санітарного нагляду в Норвегії, практики санітарного нагляду в Польщі, урбаністична політика громадського здоров'я в Україні.

Abstract

The article examines the role of urban amenities management and institutional models of municipal sanitary supervision as key determinants of public health and sustainable urban development in the context of contemporary challenges caused by rapid urbanization, climate change, environmental degradation, and increasing socio-ecological risks. It is substantiated that the quality of the urban environment, the condition of public amenities, and the effectiveness of sanitary and hygienic control directly influence population morbidity, quality of life, life expectancy, and the overall resilience of urban communities.

The study analyzes European approaches to municipal sanitary supervision and urban environmental governance using the examples of the United Kingdom, Norway, and Poland. These countries demonstrate integrated and decentralized models characterized by strong intersectoral coordination between local

authorities, public health institutions, and environmental services, as well as by the leading role of medical professionals in risk assessment and decision-making processes. Special attention is paid to the preventive orientation of sanitary supervision, the application of the “Health in All Policies” principle, and the implementation of the “Healthy Cities and Communities” concept as a framework for sustainable urban development.

The research identifies that in Ukraine the system of urban amenities management and sanitary-hygienic control in urban planning remains fragmented, with limited involvement of public health specialists and insufficient institutional coordination. This negatively affects the quality of the urban environment and public health outcomes. The findings highlight the need to modernize the regulatory framework, strengthen the role of local self-government, and adapt best European institutional practices to the national context. The article proposes priority directions for improving municipal public health policy in Ukraine as an integral component of sustainable urbanism.

Keywords: urban improvement of settlements, municipal sanitary supervision, public health and urban environment, sustainable urbanism, healthy cities and communities, european experience in urban management, united Kingdom urban governance, Norway municipal sanitation models, Poland sanitary supervision practices, Ukraine urban health policy

Постановка проблеми. В умовах інтенсивної урбанізації, зміни клімату та зростання екологічних і соціальних ризиків питання благоустрою населених пунктів і ефективності муніципального санітарного нагляду набувають ключового значення для забезпечення громадського здоров’я та сталого розвитку міст. В Україні система благоустрою та санітарного контролю характеризується фрагментарністю управління, недостатньою інституційною спроможністю органів місцевого самоврядування,

застарілими нормативно-правовими підходами та обмеженим використанням превентивних і міжсекторальних механізмів впливу на здоров'я населення.

Отже, актуальною науковою проблемою є обґрунтування підходів до вдосконалення системи благоустрою та санітарного нагляду в Україні на основі європейського досвіду з метою підвищення рівня громадського здоров'я та забезпечення сталого урбаністичного розвитку. В умовах інтенсивної урбанізації, змін клімату та зростання екологічних і соціальних ризиків благоустрій населених пунктів та ефективність муніципального санітарного нагляду набувають ключового значення для громадського здоров'я і сталого розвитку міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній літературі благоустрій населених пунктів, муніципальний санітарний нагляд та їхній вплив на громадське здоров'я й сталий урбанізм розглядаються як міждисциплінарні та критично важливі для управління міськими системами в умовах глобальних викликів. Значна увага приділяється інтеграції стратегій благоустрою в політику *Healthy Cities*, міжсекторальній взаємодії органів управління й громадськості, а також нормативно-інституційним механізмам контролю. Так, Du Y. et al. (2026) досліджують просторові нерівності у здоров'ї міського населення та напрями оцінки й покращення міського середовища [1], а Dehrashid P. A. et al. (2026) аналізують роль концепції *Healthy Cities* у сталому розвитку та досягненні Цілей сталого розвитку (SDGs) [2]. Patel et al. (2025) запропонували індекс пішохідної доступності (*walkability index*) для Європи, що дозволяє оцінювати міську сприятливість для пішохідної активності та планування [3], а Westenhöfer J. et al. (2023) підтвердили його позитивний вплив на здоров'я населення [4]. Сучасні дослідження також демонструють потенціал цифрових інновацій у міському управлінні: Salis A., Troin G. et al. (2025) розглядають розумне

управління зеленими зонами через IoT-датчики та аналітичні платформи [5], а Vrabie C. (2025) – використання штучного інтелекту для підвищення ефективності муніципальних послуг і залучення громадян [6]. Незважаючи на наявність окремих теоретичних і практичних напрацювань, недостатньо системного вивчення інституційних моделей муніципального санітарного нагляду та адаптації європейського досвіду до українських реалій.

Мета статті – аналіз впливу благоустрою населених пунктів і моделей муніципального санітарного нагляду на громадське здоров'я та сталий урбаністичний розвиток, узагальнення європейського досвіду (Велика Британія, Норвегія, Польща) та визначення перспективи вдосконалення політики здорових міст в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. В умовах інтенсивної урбанізації питання благоустрою та санітарного стану населених пунктів набувають особливої актуальності, оскільки виступають ключовими детермінантами громадського здоров'я та якості життя населення. Міжнародний досвід свідчить, що ефективне розв'язання зазначених проблем ґрунтується на комплексному поєднанні нормативно-правового регулювання, інституційного контролю та активної участі місцевих громад у процесах управління територіями. Зазначений підхід відображено, зокрема, у міжнародних ініціативах ООН і ВООЗ, спрямованих на посилення урбаністичного управління з метою покращення здоров'я міського населення [7]. Проблематика благоустрою та санітарного стану міського середовища посідає важливе місце в низці міжнародних і регіональних документів, орієнтованих на досягнення цілей сталого розвитку та формування безпечного й комфортного життєвого простору. Відповідні підходи закріплені в документах Всесвітньої організації охорони здоров'я, зокрема в концепції «Здоров'я у всіх політиках», а також у Цілях сталого розвитку ООН, серед яких особливе значення мають Ціль 3 «Міцне

здоров'я і благополуччя» та Ціль 11 «Сталий розвиток міст і громад». Ці міжнародні орієнтири підкреслюють нерозривний зв'язок між станом міського середовища, якістю житлово-комунальної інфраструктури, санітарними умовами та рівнем громадського здоров'я.

На європейському рівні підходи до благоустрою та забезпечення належних умов проживання населення конкретизуються у правових і політичних актах Ради Європи та Європейського Союзу, які визначають провідну роль органів місцевого самоврядування у формуванні безпечного та здорового міського середовища. Базовим документом у цій сфері є Європейська хартія місцевого самоврядування (1985 р.), що закріплює принципи децентралізації, субсидіарності та автономії територіальних громад у вирішенні питань місцевого значення. Хартія створює правові передумови для ефективного управління територіями, організації благоустрою та санітарного нагляду, а також слугує концептуальною основою реформ місцевого самоврядування в Україні.

Урахування міжнародного досвіду особливо важливе для України, яка реформує систему просторового планування та адаптує національну політику до європейських стандартів. Зміни в містобудівному законодавстві, ініційовані Мінрегіоном, були спрямовані на дерегуляцію будівельної сфери та підвищення інвестиційної привабливості, проте процедура державної експертизи містобудівної документації фактично усунула медико-санітарну складову, передавши оцінку санітарного та епідемічного благополуччя від фахівців охорони здоров'я до архітектурно-будівельних підрозділів. Внаслідок цього послаблено превентивний контроль за якістю міського середовища та благоустроєм. З початку реформи (2010 р.) системний державний нагляд за дотриманням санітарних норм при відведенні земель, проєктуванні та введенні об'єктів в експлуатацію фактично відсутній. Відсутність спеціалізованих гігієнічних

підрозділів призвела до хаотичного планування й ущільненої забудови, що спричинило погіршення інсоляції й освітленості, перевантаження інженерної та соціальної інфраструктури, зростання екологічних і санітарних ризиків та погіршення умов проживання населення.

Порівняльний аналіз із практикою Великої Британії показує, що ефективний благоустрій можливий за умови жорсткого превентивного контролю з боку місцевих органів влади. Закон Великої Британії про охорону здоров'я (11 серпня 1875 р., глава 55) визначає перелік «незручностей», що підлягають виявленню та усуненню, зокрема забруднення житла, водойм, накопичення відходів, неналежні умови утримання тварин і шкідливі викиди підприємств. Контроль покладено на місцеві ради, які призначають медичних працівників та інспекторів для перевірок, фіксації порушень і вимоги їх усунення у спрощеному судовому порядку. Для оптимізації ресурсів допускається об'єднання районів із призначенням спільного інспектора та пропорційним розподілом витрат. Параграф 26 закону передбачає штрафи за самовільне будівництво та право місцевої влади на знесення незаконних об'єктів із стягненням витрат із порушника [8]. Англійська модель також передбачає право громадян повідомляти про «незручності», що забезпечує залучення населення до контролю за благоустроєм і формує прозору взаємодію влади та громади.

Норвезька система нагляду за благоустроєм і санітарним станом регламентується Законом Норвегії про охорону здоров'я №29 (2011 р.) і вирізняється сучасним управлінням ризиками та інтеграцією санітарного контролю з громадським здоров'ям. Місцеві органи влади повинні мати медичних консультантів і службовців охорони здоров'я, які виконують комплексні функції: консультування, контроль санітарного стану довкілля, моніторинг інфекційних захворювань та готовність до надзвичайних ситуацій. Згідно зі статтею 13 закону, спеціалісти мають необмежений

доступ до об’єктів і майна, можуть відбирати проби, отримувати документи та залучати поліцію для забезпечення перевірок, а витрати на їх проведення покладаються на порушника [9]. Такий механізм забезпечує ефективний превентивний і реактивний контроль благоустрою та санітарного стану на місцевому рівні.

У Польщі функції систематичного санітарного нагляду та контролю за гігієнічними умовами життя населення виконує спеціальна державна інституція – Державна санітарна інспекція (Państwowa Inspekcja Sanitarna, PIS), створена відповідно до Закону Республіки Польщі «Про Державну санітарну інспекцію» від 14 березня 1985 р. та підпорядковується Міністерству охорони здоров’я [10]. Основна мета інспекції – захист здоров’я населення шляхом контролю та нагляду за санітарними і гігієнічними умовами життя в різних сферах суспільної діяльності на національному та місцевому рівнях. Інспектори наділені широкими повноваженнями: контроль об’єктів і територій, доступ до закладів і будівельних майданчиків; витребування інформації та документації; відбір проб ґрунту, води, повітря та інших елементів середовища для лабораторного дослідження; за потреби – втручання у житлові приміщення при загрозі санітарної небезпеки. У разі порушень санітарних норм інспекція може видавати обов’язкові адміністративні приписи або застосовувати обмежувальні заходи, включно з тимчасовим закриттям об’єктів. Діяльність інспекції спрямована на забезпечення безпечного та комфортного міського середовища, підтримання чистоти територій і громадських будівель, контроль за шумом, запахами та відходами, а також на запобігання виникненню і поширенню епідемій і захворювань.

Система польської санітарної інспекції ґрунтується на централізованій структурі з керівним органом у столиці та мережею територіальних підрозділів: воєводські інспектори координують діяльність

у межах воєводства, повітові інспектори здійснюють нагляд на рівні повітів, а місцеві санітарно-епідеміологічні станції виконують функції нагляду в громадах. Така організаційна модель забезпечує системний контроль санітарних умов і благоустрою як у містах, так і в сільській місцевості. Польський підхід поєднує превентивні та оперативні заходи: регулярні перевірки громадських просторів, будівель і дитячих майданчиків; контроль за якістю повітря, водопостачанням та інфраструктурою при виявленні недоліків; перевірку дотримання санітарних норм під час будівництва та реконструкції. Незважаючи на державний характер служби, інспекція активно співпрацює з місцевим самоврядуванням у плануванні заходів благоустрою, обміні інформацією про ризики та координації дій при порушеннях, що дозволяє поєднувати державні стандарти з місцевими потребами.

Аналіз моделей нагляду за благоустроєм і санітарним станом у Великій Британії, Норвегії та Польщі показує як спільні, так і відмінні риси. Англія та Норвегія використовують децентралізований підхід із самостійною роботою місцевих органів, тоді як Польща має централізовану систему з координацією на різних рівнях. В усіх трьох країнах інспектори можуть проводити перевірки, вимагати усунення порушень та застосовувати адміністративні санкції, при цьому в Норвегії та Польщі повноваження щодо доступу до майна та залучення експертів ширші. Фокус моделей відрізняється: Англія – житлові й громадські простори, Норвегія – комплексний санітарний контроль і готовність до надзвичайних ситуацій, Польща – чистота вулиць, заклади харчування та будівельні умови. Залучення громадян активніше в англійській моделі, у Польщі передбачено механізми звернень, а механізми реагування включають адміністративні санкції та, в Англії і Норвегії, покриття витрат порушника.

В українському законодавстві нагляд за благоустроєм і санітарним станом населених пунктів не віднесено до повноважень Міністерства охорони здоров'я, що регулює охорону здоров'я та громадське здоров'я (Закон України «Про систему громадського здоров'я»). Контроль за якістю міського середовища покладено на систему містобудівного регулювання та органи місцевого самоврядування, а порядок його здійснення визначено Законом України «Про благоустрій населених пунктів» та Типовим положенням про інспекцію з благоустрою, затвердженим наказом Мінрегіону № 565 від 04.07.2023 р. Інспекції є виконавчими органами місцевого самоврядування, які контролюють дотримання правил благоустрою, стан територій та об'єктів, складають протоколи про адміністративні правопорушення, проте повноваження інспекцій обмежуються адміністративно-господарською діяльністю і не охоплюють санітарно-епідеміологічний чи профілактичний контроль [11]. Окремі елементи санітарно-гігієнічної оцінки здійснюються в рамках містобудівної експертизи проєктів будівництва (ст. 31 Закону «Про регулювання містобудівної діяльності») акредитованими експертними організаціями, з можливим залученням фахівців з санітарного та епідеміологічного благополуччя, проте цей механізм носить разовий проєктний характер і не забезпечує системного постійного нагляду за санітарним станом об'єктів благоустрою [12].

Висновки

1. Порівняльний аналіз свідчить, що ефективний благоустрій та санітарний нагляд у європейських країнах ґрунтується на провідній ролі медичних фахівців у системі контролю міського середовища. У Великій Британії, Норвегії та Польщі нагляд здійснюють лікарі громадського здоров'я, медичні консультанти або спеціалізовані санітарні інспектори, що забезпечує науково обґрунтований, превентивний та орієнтований на захист

здоров'я підхід. Поєднання медичної експертизи з адміністративними повноваженнями, міжсекторальною координацією та участю громади дозволяє ефективно ідентифікувати ризики та підвищувати якість благоустрою.

2. В Україні відсутня інтегрована модель санітарно-гігієнічного контролю у містобудуванні та благоустрої, що негативно впливає на якість міського середовища та стан громадського здоров'я. Це підкреслює необхідність удосконалення правового регулювання та посилення ролі органів місцевого самоврядування з урахуванням європейських практик.

Список використаних джерел

1. Du, Y., Ren, Y., Orak, N. H., & Yan, H. (2026). Healthy city evaluation research: Evolving trajectories, spatial disparities, and future research agenda. Cities, 171, 106732. https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106732

2. Dehrashid, P. A., Mansourian, H., & Sharifi, A. Healthy cities as catalysts for sustainable development: a systematic review of co-benefits, trade-offs, and solutions to the SDGs // Progress in Planning. – 2026. – Article 101032. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.progress.2025.101032 [in English].

3. Patel, N., Nguyen, H. H., van de Geest, J., Wagtendonk, A., Raju, M. J., Dadvand, P., et al. A walk across Europe: development of a high-resolution walkability index // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.17897. – DOI: 10.1016/j.healthplace.2025.103544 [in English].

4. Westenhöfer, J., Nouri, E., Reschke, M. L., Seebach, F., & Buchcik, J. Walkability and urban built environments: a systematic review of health impact assessments (HIA) // BMC Public Health. – 2023. – Vol. 23. – No. 1. – Article 518. – DOI: 10.1186/s12889-023-15394-4 [in English].

5. Salis, A., Troina, G., Boanelli, G., Ottaviano, M., Fortini, P., & Versace, S. Urban green governance: IoT-driven management and enhancement of urban

green spaces in Campobasso // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2507.12106. – URL: https://arxiv.org/abs/2507.12106 [in English].

6. Vrabie, C. Improving municipal responsiveness through AI-powered image analysis in e-government // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.08972. – URL: https://arxiv.org/abs/2504.08972 [in English].

7. *World Health Organization*. Initiative on Urban Governance for Health and Well-being / WHO, 2020–2028. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/587a5b8c-e613-4187-9f69-6ddb67cc7b5d/content#:~:text=The%20WHO%20Initiative%20on%20Urban,participatory%20and%20multisectoral%20urban%20governance

8. Закон Великої Британії про охорону здоров'я 1875 р. (Public Health Act 1875): Chapter 55. – Велика Британія, 1875. – URL: https://www.legislation.gov.uk/ukpga/Vict/38-39/55 (дата звернення: 02.02.2026).

9. Закон Норвегії про охорону здоров'я (Public Health Act) № 29 від 24 червня 2011 р. – Норвегія, 2011. – URL: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2011-06-24-29 (дата звернення: 02.02.2026).

10. Закон Республіки Польща від 14 березня 1985 р. «Про Державну санітарну інспекцію» (Ustawa o Państwowej Inspekcji Sanitarnej). – Польща, 1985. – URL: https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19850120049 (дата звернення: 02.02.2026).

11. Закон України «Про благоустрій населених пунктів» від 06 вересня 2005 р. № 2807-IV. –Відомості Верховної Ради України, № 49, ст. 517. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2807-15 (дата звернення: 02.02.2026).

12. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI. – Відомості Верховної Ради України, 2011, № 16,

ст. 142. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text (дата звернення: 02.02.2026).

References

1. Du, Y., Ren, Y., Orak, N. H., & Yan, H. Healthy city evaluation research: Evolving trajectories, spatial disparities, and future research agenda // *Cities*. – 2026. – Vol. 171. – Article 106732. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106732 [in English].

2. Dehrashid, P. A., Mansourian, H., & Sharifi, A. Healthy cities as catalysts for sustainable development: a systematic review of co-benefits, trade-offs, and solutions to the SDGs // Progress in Planning. – 2026. – Article 101032. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.progress.2025.101032 [in English].

3. Patel, N., Nguyen, H. H., van de Geest, J., Wagtendonk, A., Raju, M. J., Dadvand, P., et al. A walk across Europe: development of a high-resolution walkability index // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.17897. – DOI: 10.1016/j.healthplace.2025.103544 [in English].

4. Westenhöfer, J., Nouri, E., Reschke, M. L., Seebach, F., & Buchcik, J. Walkability and urban built environments: a systematic review of health impact assessments (HIA) // BMC Public Health. – 2023. – Vol. 23. – No. 1. – Article 518. – DOI: 10.1186/s12889-023-15394-4 [in English].

5. Salis, A., Troina, G., Boanelli, G., Ottaviano, M., Fortini, P., & Versace, S. Urban green governance: IoT-driven management and enhancement of urban green spaces in Campobasso // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2507.12106. – URL: https://arxiv.org/abs/2507.12106 [in English].

6. Vrabie, C. Improving municipal responsiveness through AI-powered image analysis in e-government // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.08972. – URL: https://arxiv.org/abs/2504.08972 [in English].

7. World Health Organization. Initiative on Urban Governance for Health and Well-being. World Health Organization. URL: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/587a5b8c-e613-4187-9f69-6ddb67cc7b5d/content (Last accessed: 07.02.2026) [in English].

8. Public Health Act 1875: Chapter 55. United Kingdom. URL: https://www.legislation.gov.uk/ukpga/Vict/38-39/55 (Last accessed: 02.02.2026) [in English].

9. Public Health Act No. 29 of 24 June 2011. Norway. URL: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2011-06-24-29 (Last accessed: 02.02.2026) [in English].

10. Ustawa o Państwowej Inspekcji Sanitarnej: Law of the Republic of Poland of 14 March 1985. Poland. URL: https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19850120049 (Last accessed: 02.02.2026) [in Polish].

11. Law of Ukraine “On the Improvement of Populated Areas” No. 2807-IV of 06 September 2005. Verkhovna Rada of Ukraine, 2005, No. 49, Art. 517. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2807-15 (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

12. Law of Ukraine “On Regulation of Urban Development Activities” No. 3038-VI of 17 February 2011. Verkhovna Rada of Ukraine, 2011, No. 16, Art. 142. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

Пчеліна Оксана Василівна, доктор юридичних наук, професор, професор кафедри кримінального процесу та організації досудового слідства, Харківський національний університет внутрішніх справ, м. Харків, Україна, https://orcid.org/0000-0003-0224-1767,

Набільська Кіра Геннадіївна, курсант, Харківський національний університет внутрішніх справ, м. Харків, Україна, https://orcid.org/0009-0005-3815-9599

Pchelina Oksana Vasylivna, Doctor of Law, Professor, Professor of the Department of Criminal Procedure and Organization of Pre-Trial Investigation, Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-0224-1767,

Nabilska Kira Hennadiivna, Cadet, Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0005-3815-9599

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ КРИМІНАЛЬНОГО СУДОЧИНСТВА

DIGITAL TRANSFORMATION OF CRIMINAL JUSTICE

Анотація

У статті всебічно розглянуто цифрової трансформації кримінального судочинства. Здійснено ґрунтовний аналіз сучасних тенденцій і викликів цифрової трансформації кримінального судочинства в Україні в контексті воєнного стану. Розглянуто процес впровадження електронного судочинства, електронного документообігу та відеоконференцзв'язку як ключових інструментів забезпечення безперервності, доступності й справедливості судових процесів навіть в умовах надзвичайних обставин. Зосереджено

увагу на питаннях гарантування права на справедливий суд, процесуальної рівності сторін, захисту персональних даних та інформаційної безпеки під час цифровізації судочинства. Проаналізовано переваги електронних технологій для оптимізації діяльності судових органів: оперативність, прозорість, підзвітність, мінімізація фізичних контактів, підвищення якості судових рішень через швидкий доступ та обробку інформації. Водночас висвітлено основні проблеми, що постають на шляху цифрової трансформації: необхідність адаптації законодавства, стандартизації електронних процедур, забезпечення кібербезпеки, рівного доступу до технологій для всіх учасників процесу, особливо вразливих груп, а також технічної та цифрової готовності судів і правоохоронних органів. Окремо підкреслено значення міжнародного досвіду та рекомендацій, які мають бути адаптовані до національних реалій. Акцентовано на потребі розробки практичних механізмів збереження доказової сили електронних матеріалів, контролю за дотриманням процесуальних гарантій та функціонування електронних систем у періоди кібератак чи перебоїв зі зв'язком. Наголошено на важливості подальших досліджень для формування комплексного підходу до удосконалення нормативної бази і практичних процедур у цифровому кримінальному процесі, що особливо актуально для України в умовах війни.

Ключові слова: електронне судочинство, цифрова трансформація, відеоконференцзв'язок, дистанційне судове засідання, електронний документообіг, кримінальне провадження, кримінальне судочинство, правозастосовна практика, національне законодавство.

Abstract

In the article it has been provided a comprehensive review of the digital transformation of criminal justice. It has been presented an in-depth analysis of current trends and challenges in the digital transformation of criminal proceedings

in Ukraine in the context of martial law. The process of implementing electronic justice, electronic document management, and videoconferencing has been examined as key tools for ensuring continuity, accessibility, and fairness of court proceedings, even under extraordinary circumstances. Particular attention has been paid to guaranteeing the right to a fair trial, procedural equality of the parties, protection of personal data, and information security during the digitalization of justice. The advantages of electronic technologies for optimizing the work of judicial bodies have been analyzed, including efficiency, transparency, accountability, minimization of physical contact, and improved quality of court decisions through rapid access to and processing of information. At the same time, the main problems encountered on the path to digital transformation have been highlighted: the need to adapt legislation, standardize electronic procedures, ensure cybersecurity, provide equal access to technology for all participants in the process – especially vulnerable groups – as well as the technical and digital readiness of courts and law enforcement agencies. The significance of international experience and recommendations, which should be adapted to national realities, has been separately emphasized. The article underscores the need to develop practical mechanisms to preserve the evidentiary value of electronic materials, monitor compliance with procedural guarantees, and ensure the functioning of electronic systems during cyberattacks or communication disruptions. The importance of further research has been stressed, with a view to forming a comprehensive approach to improving the regulatory framework and practical procedures in digital criminal proceedings, which is particularly relevant for Ukraine in wartime conditions.

Key words: electronic justice, digital transformation, videoconferencing, remote court hearing, electronic document management, criminal proceedings, criminal justice, law enforcement practice, national legislation.

Постановка проблеми. В умовах воєнного стану в Україні питання ефективності, доступності та безпеки кримінального судочинства є особливо актуальними. Впровадження електронного провадження, електронного документообігу й відеоконференцзв'язку є необхідним для забезпечення безперервності та справедливості судових процесів, захисту прав людини та дотримання принципу верховенства права. Цифровізація дозволяє мінімізувати фізичний контакт, підвищити оперативність і прозорість судочинства, проте водночас створює нові виклики для правозастосовної практики: адаптації законодавства, захисту даних, технічної готовності судів, підвищення цифрової грамотності учасників процесу і гарантування права на справедливий суд. Необхідно враховувати міжнародний досвід, адаптуючи його до національних особливостей воєнного часу, а комплексний науковий аналіз сприятиме визначенню ефективних шляхів розвитку цифрового кримінального судочинства та захисту прав учасників процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження проблематики цифрової трансформації кримінального судочинства в Україні зосереджуються на впровадженні електронного судочинства й відеоконференцзв'язку в умовах воєнного стану. Науковці (І. Глушко, О. Кравчук, А. Моїсєєва, І. Мудра, Р. Сопільник та ін.) аналізують модернізацію кримінального процесу, створення електронних платформ для документообігу й забезпечення дистанційної участі сторін. Основні виклики стосуються законодавчої адаптації, кібербезпеки, захисту персональних даних, підвищення цифрової грамотності та технічної готовності органів. Водночас залишаються невирішеними питання доказової сили електронних матеріалів, забезпечення змагальності сторін під час дистанційних засідань, стабільної роботи електронних систем, конфіденційності інформації та захисту прав учасників у разі кібератак або перебоїв зв'язку. Необхідний

системний підхід до аналізу впливу цифровізації на права учасників процесу та мінімізації відповідних ризиків, що особливо актуально в умовах війни.

Метою цієї статті є комплексний аналіз особливостей цифрової трансформації кримінального судочинства в Україні в умовах воєнного стану.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сучасному етапі розвитку правової системи України впровадження електронного судочинства в кримінальному провадженні є актуальним, оскільки відповідає тенденціям цифровізації й оптимізації судових органів. Електронне судочинство сприяє ефективності, прозорості та доступності правосуддя, автоматизуючи обробку, зберігання і передачу документів, спрощуючи комунікацію між сторонами та забезпечуючи оперативний доступ до судових рішень.

У кримінальному провадженні електронне судочинство скорочує строки розгляду справ, зменшує навантаження на суддів, підвищує якість судових рішень завдяки швидкому аналізу інформації, мінімізує ризики втрати чи підробки матеріалів та забезпечує контроль за дотриманням процесуальних норм. Відповідно, впровадження сучасних інформаційних технологій у кримінальному провадженні дозволяє автоматизувати подання та розгляд клопотань, отримання повідомлень, подання доказів у цифровій формі та реєстрацію процесуальних дій. Використання електронного судочинства має ґрунтуватися на належному правовому підґрунті.

Правове забезпечення електронного судочинства в Європі започатковано Рекомендаціями Rec (2001) 2 та Rec (2001) 3 Комітету Міністрів Ради Європи щодо модернізації судових систем та надання юридичних послуг із застосуванням сучасних інформаційних технологій [1; 2]. Україна, як член Ради Європи, долучилася до інформатизації судової діяльності, ухваливши 22 травня 2003 року Закон «Про електронні документи та електронний документообіг», який регламентує створення,

обіг і зберігання електронних документів [3]. Законодавство щодо електронних документів та електронного документообігу регулюється низкою нормативних актів, серед яких і Цивільний кодекс України. Однак ці положення не узгоджені з процесуальним законодавством, у результаті чого чинні процесуальні закони не містять згадок про використання електронного документообігу в судах.

Важливим нормативно-правовим актом в аспекті запровадження електронного судочинства, серед іншого в кримінальному провадженні, є Закон України «Про доступ до судових рішень» [4] від 22 грудня 2005 року. Він визначає принципи доступу до судових рішень та регулює функціонування Єдиного державного реєстру судових рішень, що забезпечує відкритість, конфіденційність та універсальність доступу, сприяє реалізації права на оскарження, однаковому застосуванню норм, підвищенню якості судових рішень і спрощенню аналізу судової практики [5, с. 95–99].

При цьому наголосимо, що перехід до електронного судочинства потребує комплексного вирішення супутніх проблем і значних фінансових витрат, що у перспективі має забезпечити економію коштів. Україна, прагнучи відповідати міжнародним стандартам доступного правосуддя, активно долучається до процесу інформатизації судової системи. Єдина судова інформаційно-телекомунікаційна система (далі – ЄСІТС) автоматизує документообіг, розподіл справ, обмін документами, фіксацію судового процесу, участь у засіданнях в режимі відеоконференції, звітність і надання інформаційної допомоги суддям. У судах функціонують такі модулі ЄСІТС, як «Електронний кабінет», «Електронний суд» та підсистема відеоконференцзв’язку [6]. Важливим етапом впровадження електронного судочинства є розроблення Стратегії розвитку правосуддя на 2025–2030 роки як єдиного документу реформування судової системи [7].

Серед правових підстав упровадження електронного судочинства в кримінальному провадженні виділяється Положення про автоматизовану систему документообігу суду, що регламентує її функціонування: реєстрацію та розподіл справ, визначення присяжних, інформування про стан розгляду, оприлюднення даних, зберігання електронних документів, формування статистики, видачу копій судових рішень, автоматичне надсилання документів та передачу справ до електронного архіву [8].

Окремо варто зауважити, що в умовах воєнного стану правова система України стикається з викликами щодо забезпечення виконання кримінального процесуального законодавства та гарантування прав учасників провадження. З огляду на обмеження фізичної присутності сторін, судова система використовує електронні засоби зв'язку як альтернативу традиційним формам комунікації. Відеоконференцзв'язок у кримінальному провадженні забезпечує оперативність, доступність і безпеку процесуальних дій, сприяє реалізації принципу змагальності та гарантіям адвокатської діяльності. Однак його застосування супроводжується питаннями ідентифікації особи, конфіденційності, фіксації дій та інформаційної безпеки. Актуальним є комплексний аналіз переваг, ризиків і вдосконалення нормативного регулювання електронної комунікації в надзвичайних умовах для захисту прав учасників процесу.

Як зазначають І. Глушко та А. Моісєєва, із введенням воєнного стану в Україні кримінальне процесуальне законодавство було змінено, зокрема щодо порядку дистанційних судових засідань. Від 14 квітня 2022 року питання проведення дистанційного судового провадження стало виключною компетенцією суду, а позиція обвинуваченого втратила вирішальне значення – пріоритет надано дотриманню розумних строків розгляду справи [9; 10]. Судова практика застосовує рішення Ради суддів України, згідно з яким судові засідання проводяться із використанням власних технічних засобів

учасників процесу (суддів, прокурорів, адвокатів, свідків), а для зв'язку використовуються програми «EasyCon», «ZOOM» тощо [9; 11].

О. Кравчук акцентує на пріоритетності відеоконференцзв'язку із власних технічних засобів згідно з оновленою архітектурою ст. 336 КПК України, що спрощує судовий розгляд та зменшує організаційні й матеріальні витрати. Особливо це важливо під час війни, коли використання судів різних областей для відеоконференції може призвести до відкладень через повітряні тривоги або воєнні події, натомість зв'язок із власних засобів дозволяє учаснику приєднатися з безпечного місця [12]. Більше за все, законодавець наголошує, що допит свідка, потерпілого чи спеціаліста має відбуватися в режимі відеоконференції лише в приміщенні суду, визначеному судом, але під час воєнного чи надзвичайного стану допускається можливість допиту з використанням власних технічних засобів у виняткових випадках [12].

Дистанційні судові засідання, попри їхню актуальність у воєнних умовах, мають суттєві технічні та процедурні недоліки, на які звертають увагу адвокати. Серед основних проблем називають: складнощі з належною ідентифікацією особи без перевірки оригіналів документів, неможливість забезпечити ознайомлення учасника з його правами та отримати відповідну розписку, а також ризики порушення конфіденційності, неупередженості та можливість стороннього впливу на особу поза межами суду [9]. Вказані недоліки істотно впливають на якість і справедливість кримінального процесу. Для їх подолання пропонується впровадження додаткових цифрових засобів ідентифікації (електронний підпис, біометрія, інтеграція з державними реєстрами). Відповідно до ч. 5 ст. 336 КПК України, участь у дистанційних засіданнях допускається із застосуванням власних технічних засобів та кваліфікованого електронного підпису згідно з вимогами Єдиної судової інформаційно-комунікаційної системи [10]. Проте навіть ці заходи

не гарантують абсолютної достовірності, що підтверджує обґрунтованість адвокатських побоювань.

Щодо обізнаності учасників у своїх правах, тут доцільно запровадити інтегровані цифрові протоколи, які б дозволяли автоматизовано підтверджувати ознайомлення особи з її правами перед початком засідання. Це може частково вирішити проблему отримання розписок у дистанційному режимі, хоча людський фактор і надалі залишатиметься важливим. Питання конфіденційності та неупередженості заслуговують окремої уваги. Дистанційний формат дійсно ускладнює контроль за тим, чи не перебуває особа під стороннім впливом або психологічним тиском. Можна запропонувати використання спеціальних процедур, наприклад, обов'язкове відеоспостереження за всім простором, де перебуває учасник, або залучення незалежних спостерігачів онлайн. Однак, повністю усунути ризики втручання складно.

Загалом, дистанційні засідання – це вимушений крок розвитку судової системи, який має свої переваги та недоліки. В умовах війни вони стають незамінними, але водночас вимагають постійного вдосконалення як технологічних рішень, так і законодавчого регулювання, щоб максимально захистити права учасників процесу та забезпечити справедливість кримінального судочинства.

Висновки. Отже, впровадження електронного судочинства в кримінальному провадженні відповідає світовим і європейським стандартам здійснення правосуддя, а також сучасним викликам, що стоять перед правовою системою України. Це не лише технічне нововведення, а й стратегічний напрямок розвитку судової влади, який передбачає підвищення професійного рівня суддів, вдосконалення механізмів обміну інформацією та створення єдиної автоматизованої системи документообігу. Загалом, електронне судочинство є передумовою для формування відкритого,

доступного та ефективного судового процесу, що сприяє зміцненню довіри суспільства до судової влади і забезпеченню справедливого розгляду в кримінальних провадженнях.

Крім того, в умовах воєнного стану однією з головних гарантій забезпечення доступу до правосуддя та захисту прав учасників процесу є використання відеоконференцзв'язку у кримінальному провадженні. Попри суттєві переваги дистанційного формату, зокрема оперативність, гнучкість і можливість проведення судових засідань у надзвичайних умовах, залишаються актуальними питання ідентифікації особи, захисту інформації, конфіденційності та неупередженості судового розгляду. Вирішення цих проблем потребує подальшого вдосконалення законодавчої бази, впровадження сучасних технічних засобів і чіткого регламентування процедур, що дозволить мінімізувати ризики та підвищити рівень довіри до інституту дистанційного судочинства.

Список використаних джерел

1. Рекомендація Rec (2001) 2 Комітету Міністрів Ради Європи державам-членам щодо побудови та перебудови судових систем та правової інформації в економічний спосіб: від 28 лютого 2001 року. *Вища кваліфікаційна комісія суддів України.* URL: https://old.vkksu.gov.ua/userfiles/doc/perelik-dokumentiv/rek-2001-2.pdf.

2. Рекомендація № R (2001) 3 Комітету Міністрів Ради Європи державам-членам щодо надання громадянам судових та інших юридичних послуг з використанням новітніх технологій: від 28 лютого 2001 року. *Вища кваліфікаційна комісія суддів України.* URL: https://old.vkksu.gov.ua/userfiles/doc/perelik-dokumentiv/rek-2001-3.pdf.

3. Про електронні документи та електронний документообіг: Закон України від 22 травня 2003 року. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 36. Ст. 275. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-15#Text.

4. Про доступ до судових рішень: Закон України від 22 грудня 2005 року. *Відомості Верховної Ради України*. 2006. № 15. Ст. 128. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3262-15#Text.

5. Сопільник Р.Л. Єдиний державний реєстр судових рішень. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*. 2011. Вип. 7. С. 95–99.

6. Положення про порядок функціонування окремих підсистем (модулів) Єдиної судової інформаційно-телекомунікаційної системи: затверджено Рішенням Вищої ради правосуддя 17.08.2021 № 1845/0/15-21. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1845910-21#n22.

7. Мудра І. Стратегія розвитку системи правосуддя на 2025-2030 роки стане єдиним документом для його реформування. *Укрінформ.* URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-polytics/3921385-strategia-rozvitku-pravosudda-20252030-stane-edinim-dokumentom-reformuvanna-pravosudda-mudra.html.

8. Положення про автоматизовану систему документообігу суду: затверджено Рішенням Ради суддів України від 11.11.2024 № 39. *Судова влада України.* URL: https://court.gov.ua/sudova-vlada/969076/polozhenniapasds/.

9. Глушко І., Моісєєва А. Дистанційне кримінальне провадження під час воєнного стану. *GOLAW.* URL: https://surl.li/ltvppf.

10. Кримінальний процесуальний кодекс України: закон України від 13.04.2012 № 4651–VI. *Відомості Верховної Ради України.* 2013. № 9–10, № 11–12, № 13. Ст. 88. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17/conv#n2054.

11. Щодо вжиття невідкладних заходів для забезпечення сталого функціонування судової влади в Україні в умовах припинення повноважень ВРП та воєнного стану у зв'язку зі збройною агресією з боку рф: рішення Ради суддів України від 24.02.2022 № 9. *Рада суддів України.* URL: https://surl.li/sjaxij.

12. Кравчук О. Спрощення або ускладнення відеоконференцій у кримінальному суді. *Justtalk.* URL: https://surl.li/rylewq.

References

1. Recommendation Rec (2001) 2 of the Committee of Ministers of the Council of Europe to member states on the design and re-design of court systems and legal information systems in a cost-effective manner (2001, February 28). High Qualification Commission of Judges of Ukraine. https://old.vkksu.gov.ua/userfiles/doc/perelik-dokumentiv/rek-2001-2.pdf

2. Recommendation No. R (2001) 3 of the Committee of Ministers of the Council of Europe to member states on the delivery of court and other legal services to the citizen through the use of new technologies (2001, February 28). High Qualification Commission of Judges of Ukraine. https://old.vkksu.gov.ua/userfiles/doc/perelik-dokumentiv/rek-2001-3.pdf

3. Pro elektronni dokumenty ta elektronnyi dokumentoobih [On electronic documents and electronic document management], Law of Ukraine No. 851-IV (2003). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (36), Art. 275. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-15#Text

4. Pro dostup do sudovykh rishen [On access to court decisions], Law of Ukraine No. 3262-IV (2005). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (15), Art. 128. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3262-15#Text

5. Sopilnyk, R. L. (2011). Yedynyi derzhavnyi reiestr sudovykh rishen [Unified state register of court decisions]. *Naukovi zapysky Lvivskoho universytetu biznesu ta prava*, (7), 95–99.

6. Polozhennia pro poriadok funktsionuvannia okremykh pidsystem (moduliv) Yedynoi sudovoi informatsiino-telekomunikatsiinoi systemy [Regulation on the procedure for the functioning of separate subsystems (modules) of the Unified Judicial Information and Telecommunication System], Resolution of the High Council of Justice No. 1845/0/15-21 (2021). Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1845910-21#n22

7. Mudra, I. (2025). Stratehiia rozvytku systemy pravosuddia na 2025-2030 roky stane yedynym dokumentom dlia yoho reformuvannia [The justice system development strategy for 2025-2030 will become a single document for its reform]. *Ukrinform*. https://www.ukrinform.ua/rubric-polytics/3921385-strategia-rozvitku-pravosudda-20252030-stane-edinim-dokumentom-reformuvanna-pravosudda-mudra.html

8. Polozhennia pro avtomatizovanu systemu dokumentoobihu sudu [Regulation on the automated court document management system], Decision of the Council of Judges of Ukraine No. 39 (2024). Judiciary of Ukraine. https://court.gov.ua/sudova-vlada/969076/polozhenniapasds/

9. Hlushko, I., & Moiseieva, A. (2022). Dystantsiine kryminalne provadzhennia pid chas voiennoho stanu [Remote criminal proceedings during martial law]. *GOLAW*. https://surl.li/ltvppf

10. Criminal Procedural Code of Ukraine, Law of Ukraine No. 4651-VI (2012). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (9–13), Art. 88. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17/conv#n2054

11. Shchodo vzhyttia nevidkladnykh zakhodiv dlia zabezpechennia staloho funktsionuvannia sudovoi vlady v Ukraini v umovakh prypynennia povnovazhen

VRP ta voiennoho stanu u zv'iazku zi zbroinoiu ahresiieiu z boku rf [On taking urgent measures to ensure the stable functioning of the judiciary in Ukraine under the termination of the HCJ powers and martial law in connection with the armed aggression by the russian federation], Decision of the Council of Judges of Ukraine No. 9 (2022). Council of Judges of Ukraine. https://surl.li/sjaxij

12. Kravchuk, O. (2024). Sproshchennia abo uskladnennia videokonferentsii u kryminalnomu sudi [Simplification or complication of video conferences in a criminal court]. *Justtalk*. https://surl.li/rylewq

Пчеліна Оксана Василівна, доктор юридичних наук, професор, професор кафедри кримінального процесу та організації досудового слідства, Харківський національний університет внутрішніх справ, м. Харків, Україна, https://orcid.org/0000-0003-0224-1767,

Тимчук Яна Ігорівна, курсант, Харківський національний університет внутрішніх справ, м. Харків, Україна, https://orcid.org/0009-0000-3939-4156

Pchelina Oksana Vasylivna, Doctor of Law, Professor, Professor of the Department of Criminal Procedure and Organization of Pre-Trial Investigation, Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-0224-1767,

Tymchuk Yana Ihorivna, Cadet, Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0005-3815-9599

КРИМІНАЛЬНЕ ПРОВАДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ ТА ПРОЦЕСУАЛЬНІ НОВЕЛИ

CRIMINAL PROCEEDINGS UNDER MARTIAL LAW: CURRENT REALITIES AND PROCEDURAL INNOVATIONS

Анотація

У статті досліджено вплив воєнного стану на здійснення кримінального провадження в Україні. Зосереджено увагу на безпрецедентних викликах, що постали перед системою кримінальної юстиції після початку повномасштабної збройної агресії російської федерації 24 лютого 2022 року. Розкрито вплив воєнного стану на всі аспекти правозастосовної практики: від оперативної адаптації нормативної бази до зміни компетенції державних органів, обмеження прав людини й

реформування процедур досудового розслідування. Здійснено аналіз правових новацій, які, з одного боку, підвищують гнучкість та ефективність кримінального процесу, а з іншого – породжують ризики надмірної концентрації повноважень у сторони обвинувачення та можливі загрози засадам верховенства права і змагальності. Зокрема, проаналізовано зміни законодавства, що стосуються процесуальних гарантій та розподілу компетенції між судом і прокуратурою, особливостей проведення слідчих (розшукових) дій, застосування запобіжних заходів та автоматичної пролонгації строків ізоляції. Досліджено питання балансу між публічними інтересами безпеки держави та індивідуальними правами учасників кримінального провадження, зосереджуючись на проблемах обмеження процесуальних гарантій, забезпечення справедливості судового розгляду, рівності сторін та запобігання зловживанням з боку слідчих і прокурорів. Обґрунтовано необхідність інтеграції цифрових технологій у кримінальний процес в умовах воєнного стану, стандартизації електронних процедур і гарантування інформаційної безпеки. Підкреслено, що перспективи вдосконалення законодавства полягають у посиленні судового контролю, запровадженні додаткових процесуальних гарантій та приведенні норм у відповідність із прецедентною практикою міжнародних правозахисних інституцій.

Ключові слова: кримінальне провадження, правовий режим, воєнний стан, компетенція, слідчі (розшукові) дії, реформування, трансформація.

Abstract

In the article it has been provided the impact of martial law on the conduct of criminal proceedings in Ukraine. It has been focused on the unprecedented challenges faced by the criminal justice system following the onset of the full-scale armed aggression by the russian federation on 24 February 2022. The

influence of martial law on all aspects of law enforcement practice has been revealed: from the rapid adaptation of the regulatory framework to changes in the competence of state bodies, the restriction of human rights, and the reform of pre-trial investigation procedures. The legal innovations have been analyzed, which, on the one hand, enhance the flexibility and efficiency of the criminal process, but on the other hand, give rise to risks of excessive concentration of powers within the prosecution and possible threats to the principles of the rule of law and adversarial proceedings. In particular, changes in legislation concerning procedural guarantees and the distribution of competence between the court and the prosecution, the specifics of conducting investigative (search) actions, the application of preventive measures, and the automatic extension of isolation periods have been examined. In the article it has been explored the balance between public interests of state security and the individual rights of participants in criminal proceedings, focusing on issues such as the restriction of procedural guarantees, ensuring the fairness of trials, equality of parties, and the prevention of abuse by investigators and prosecutors. The necessity of integrating digital technologies into criminal proceedings under martial law, standardizing electronic procedures, and ensuring information security has been substantiated. It has been emphasized that the prospects for improving legislation lie in strengthening judicial control, introducing additional procedural safeguards, and aligning legal norms with the case law of international human rights institutions.

Key words: criminal proceedings, legal regime, martial law, competence, investigative (search) actions, reform, transformation.

Постановка проблеми. Воєнний стан в Україні поставив перед кримінальним провадженням нові виклики, що потребували швидкої адаптації законодавства, судової системи та правоохоронних органів. Окрім ефективності, особлива увага приділяється захисту основних прав людини,

зокрема права на справедливий суд. Війна виявила слабкі місця чинної системи, актуалізувавши питання процесуальних гарантій, розподілу компетенції між судом і прокуратурою, а також удосконалення слідчих дій і запобіжних заходів. Особливого значення набули нові процесуальні механізми, спрямовані на баланс між державними інтересами безпеки та правами учасників кримінального процесу. Після початку повномасштабної агресії російської федерації 24 лютого 2022 року, правовий режим воєнного стану передбачає розширення повноважень державних органів і тимчасові обмеження основних прав людини [1]. Це зумовлює необхідність наукового аналізу нових нормативних змін та їх впливу на правовий статус учасників кримінальних процедур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стан наукових досліджень проблематики впливу воєнного стану на здійснення кримінального провадження характеризується значною увагою науковців до питань забезпечення балансу між ефективністю кримінального процесу та дотриманням основних конституційних прав людини в умовах надзвичайних правових режимів. Зокрема, у своїх працях учені (Д.Р. Власенко, О.О. Гущин, В.А. Завтур, О.В. Пчеліна, О.І. Тищенко, В.В. Топчій, Т.Г. Фоміна й інші) акцентують на необхідності дотримання балансу між ефективністю кримінального процесу в умовах правового режиму воєнного стану та збереженням основних конституційних прав людини. Значна кількість досліджень аналізує відповідність національних законодавчих новацій міжнародним стандартам захисту прав людини, а також звертає увагу на ризики надмірної концентрації повноважень у сторони обвинувачення. Водночас наукова дискусія залишається відкритою щодо оптимальних моделей адаптації кримінального процесу до умов воєнного стану.

Тому *метою цієї статті* є всебічне вивчення модифікацій кримінального процесуального регулювання в період воєнного стану та визначення їхньої узгодженості з конституційними стандартами.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою визначення впливу воєнного стану на процедуру здійснення кримінального провадження варто передусім з'ясувати генезу нормативного регулювання вказаної сфери суспільних відносин. Зокрема, еволюція кримінального процесуального права розпочалася після подій 2014 року, коли Україна зіткнулася з анексією Криму та збройним конфліктом у східних регіонах. Законодавчий акт від 12 серпня 2014 року під номером 1631-VII інтегрував до процесуального кодексу спеціальний розділ, присвячений досудовому розслідуванню в екстраординарних умовах [2, с. 546–548]. Первісна версія цих норм мала недоліки щодо організації нагляду за процесуальною діяльністю прокурорів [3, с. 271].

Водночас масштабна збройна агресія 2022 року ініціювала глибокі законодавчі реформи. Нормативний акт № 2201-IX, ухвалений навесні 2022 року, докорінно змінив процесуальне регулювання [4]. Принциповою інновацією стало закріплення положення про те, що надзвичайний правовий режим модифікує механізми реалізації процесуальних принципів, але не анулює їхню сутність [5, с. 18].

Зміни у розподілі компетенції між судом і прокуратурою під час воєнного стану передбачають делегування функцій слідчого судді прокурорським органам, зокрема щодо санкціонування процесуальних примусових заходів, ізоляції підозрюваних до 30 діб, дозволів на обшуки й огляди житла чи іншщого володіння особи. Однак така передача юрисдикційних повноважень стороні обвинувачення порушує процесуальну рівновагу, принципи змагальності й суперечить європейським стандартам, особливо щодо права обирати найсуворіший запобіжний захід. Найбільшу

критику викликала норма про автоматичну пролонгацію строків ізоляції, яку Конституційний Суд у 2024 році визнав такою, що порушує Основний Закон, наголосивши на недопустимості повного нівелювання конституційних гарантій навіть за надзвичайних обставин [2, с. 547; 6; 7]. Запровадження автоматичної пролонгації без судового контролю створює ризики зловживань та надмірного обмеження прав, тому рішення Конституційного Суду щодо її неконституційності є позитивним, підтверджуючи необхідність дотримання конституційних гарантій навіть у надзвичайних умовах.

Окремо зазначимо, що під впливом правового режиму воєнного стану зазнали трансформації процедури слідчих (розшукових) дій. Законодавець запровадив можливість здійснення обшуків і оглядів у житлових приміщеннях без участі понятих – незаінтересованих осіб – за наявності об'єктивних перешкод або загроз їхній безпеці. Компенсаторним механізмом визначено неперервне відеодокументування процесуальних дій [6]. Відмова від залучення незаінтересованих осіб знижує рівень зовнішнього контролю та породжує ризики для гарантій прав учасників провадження, адже відеофіксація не забезпечує повної заміни інституту понятих. Законодавець визначив дві підстави для незалучення понятих: реальна неможливість їх залучення та ризики для безпеки; оцінку цих обставин здійснює слідчий, а їх обґрунтованість підлягає судовій перевірці при оцінці доказів. Оцінка цих обставин покладається на особу, що проводить слідчі (розшукові) дії, виходячи з конкретної ситуації, зокрема територіальної близькості до зони бойових дій чи загрози обстрілів [5, с. 18]. Судові органи надалі можуть перевіряти обґрунтованість таких рішень при оцінюванні придатності доказів.

На наш погляд, трансформація процедур слідчих (розшукових) дій під впливом воєнного стану є вимушеним кроком, зумовленим реальними загрозами для учасників кримінального провадження, зокрема

незаінтересованих осіб (понятих). В умовах бойових дій залучення понятих часто неможливе або небезпечне, тому держава впровадила відеофіксацію як альтернативний компенсаторний механізм. Водночас така заміна не забезпечує повної еквівалентності зовнішнього контролю, що притаманний інституту понятих, і створює ризики зловживань з боку правоохоронних органів. Надання правоохоронцям дискреції щодо відмови від залучення понятих потребує чіткої регламентації, фіксації мотивів у процесуальних документах і обов'язкової судової перевірки правомірності таких рішень для забезпечення дотримання прав людини та допустимості доказів.

Окрему увагу слід приділити аналізу впливу воєнного стану на регулювання інституту запобіжних заходів. Зокрема, істотних змін зазнала процедура застосування найбільш суворого запобіжного заходу – тримання під вартою. Найбільш дискусійним стало положення щодо автоматичного продовження строку ізоляції особи після завершення дії судового рішення у разі неможливості його поновлення, яке могло тривати до двох місяців. Вказана норма була предметом обґрунтованої критики, оскільки суперечила основному принципу здійснення судового контролю за будь-якими випадками позбавлення волі. Продовження строку ізоляції без ухвали суду, навіть за екстраординарних обставин, не відповідало міжнародним стандартам захисту прав людини та практиці Європейського суду з прав людини. У липні 2024 року Конституційний Суд України прийняв рішення, яким визнав зазначене положення неконституційним. Суд підкреслив, що автоматичне продовження строку ізоляції без здійснення судового контролю порушує конституційні гарантії свободи, право на судовий захист та принцип верховенства права. Після закінчення тримісячного терміну з моменту прийняття відповідного рішення норма втратила чинність [6]. Вказане рішення підтверджує, що навіть за умов дії надзвичайного правового режиму не допускається повне скасування фундаментальних прав,

а будь-які їх обмеження мають здійснюватися у суворій відповідності до конституційних процедур.

Одночасно законодавство передбачає спеціальні механізми скасування обмежувальних заходів для окремих категорій осіб. Зокрема, ст. 616 КПК України гарантує право підозрюваним або обвинуваченим, які утримуються під вартою, ініціювати скасування запобіжного заходу з метою проходження військової служби під час мобілізації. Зазначене право не застосовується до осіб, яким інкриміновано злочини проти національної безпеки та інші тяжкі кримінальні правопорушення [7]. Реалізація цього механізму ускладнюється необхідністю надання медичного висновку щодо придатності до військової служби, що створює додаткові труднощі для ізольованих осіб.

У період дії правового режиму воєнного стану в межах кримінального провадження було впроваджено процедуру обміну військовополонених. На законодавчому рівні врегульовано порядок скасування запобіжних заходів для передачі осіб в обмін як військовополонених. Відповідно до ст. 201-1 КПК України прокурор уповноважений звертатися до суду з відповідним клопотанням після прийняття уповноваженим органом рішення про передачу конкретної особи. Необхідними умовами є наявність документального підтвердження рішення про обмін та письмова згода особи на таку передачу. Матеріали повинні бути надані підозрюваному або обвинуваченому не менш ніж за три години до розгляду клопотання. Розгляд клопотання здійснюється негайно за участю прокурора [6]. Незважаючи на те, що процедура не передбачає обов’язкової участі захисника, кримінальне процесуальне законодавство містить випадки обов’язкової участі адвоката та надання правової допомоги, зокрема у справах про особливо тяжкі злочини. З огляду на характер воєнних злочинів, участь захисника має забезпечуватися відповідно до загальних правил. Після прийняття рішення про скасування запобіжного заходу особа передається під контроль

уповноваженого органу. Судове провадження зупиняється до моменту фактичного обміну військовополоненого або отримання інформації щодо його незавершення, після чого провадження підлягає відновленню [6].

У межах дослідження впливу воєнного стану на здійснення кримінального провадження слід зазначити, що новели охопили питання визначення компетенції судів за територіальною ознакою. Згідно з новими положеннями, процесуальні документи надсилаються до суду за місцем завершення досудового розслідування, а у випадку неможливості – до найближчого функціонуючого суду [6]. За об'єктивної неможливості здійснення правосуддя застосовується процедура зміни підсудності шляхом прийняття рішення Вищою радою правосуддя за поданням керівника вищої судової інстанції або шляхом видання відповідного розпорядження у разі неможливості функціонування Ради [8].

Окремо зауважимо, що нововведення 2024 року надало найвищому прокурору компетенцію визначати підслідність військових злочинів, передбачених статтями 407 і 408 Кримінального кодексу, іншим органам досудового розслідування [9]. Це спрямоване на підвищення оперативності й ефективності розслідування воєнних злочинів. На нашу думку, надання найвищому прокурору права визначати підслідність названих військових злочинів має як позитивні, так і потенційно ризиковані наслідки. Централізація підслідності дозволяє швидко реагувати на військові кримінальні правопорушення, що є важливим у період масштабного збройного конфлікту для підтримання правопорядку та виконання військового обов'язку. Водночас надмірна концентрація повноважень органів прокуратури без належного судового контролю створює ризики порушення балансу інтересів сторін та зловживань при визначенні підслідності, що може негативно впливати на об'єктивність і неупередженість розслідування. З огляду на це, підвищення ефективності

реагування повинно супроводжуватися посиленим судовим контролем і процесуальними гарантіями, аби забезпечити дотримання конституційних принципів, справедливість та законність у кримінальному провадженні під час воєнного стану.

Загалом, у контексті досліджуваної проблематики варто погодитися з думкою В.В. Топчія з приводу того, що «кримінальне процесуальне законодавство має бути адаптованим до реалій сьогодення, враховуючи умови воєнного стану. Це означає, що воно повинно забезпечувати належну правову процедуру та ефективне правозастосування, враховуючи специфіку умов війни. Нормативна регламентація порядку здійснення кримінального провадження має бути побудована на ідеї балансу між приватними та публічними інтересами. Це охоплює визначення мети провадження та інструментів, які будуть використовуватися для досягнення цієї мети, а також обов'язки осіб, які здійснюють кримінальне провадження від імені держави. Важливо, щоб стандарти правозастосування були відповідними на всіх етапах та в усіх формах проваджень кримінального процесу. Це забезпечить здійснення справедливих, ефективних і прозорих кримінальних розслідувань, що є важливим аспектом у забезпеченні правопорядку та захисту прав людини, особливо в умовах дії воєнного стану в країні» [10, с. 239].

Висновки. Отже, правовий режим воєнного стану кардинально трансформував кримінальну процесуальну систему України. Законодавчі новації орієнтовані на забезпечення функціональності правосуддя за екстраординарних умов, проте окремі норми викликають критику щодо узгодженості з конституційними гарантіями та міжнародними стандартами. Найбільш проблемними залишаються норми про делегування судових повноважень прокурорам, здійснення слідчих (розшукових) дій без участі незаінтересованих осіб та обмеження права на суд присяжних. Визнання

Конституційним Судом неконституційності автоматичної пролонгації ізоляції демонструє потребу балансування державних інтересів та індивідуальних прав.

Перспективи вдосконалення законодавства полягають у посиленні судового контролю, запровадженні додаткових процесуальних гарантій та приведенні норм у відповідність із прецедентною практикою міжнародних правозахисних інституцій.

Список використаних джерел

1. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 29.09.2022 № 389-VIII. *Відомості Верховної Ради України.* 2015. № 28. Ст. 250. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text

2. Гущин О.О., Власенко Д.Р., Тищенко О.І. Особливий режим кримінального провадження в умовах воєнного стану: законодавчі новації. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2022. № 5. С. 546–548.

3. Завтур В.А. Оцінка допустимості доказів, отриманих у порядку ст. 615 КПК України. Правове життя сучасної України. Одеса: Гельветика, 2020. Т. 3. С. 269–274.

4. Про внесення змін до Кримінального процесуального кодексу України щодо удосконалення порядку здійснення кримінального провадження в умовах воєнного стану: Закон України від 14.04.2022 № 2201-IX. *Відомості Верховної Ради України.* 2023. № 16. Ст. 69. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2201-20#Text

5. Лазебний А., Волинець В. Особливий режим кримінального провадження в умовах воєнного стану. Протидія кримінальним правопорушенням в умовах воєнного стану. Кропивницький, 2022. 369 с.

6. Кримінальний процесуальний кодекс України: закон України від 13.04.2012 № 4651–VI. *Відомості Верховної Ради України.* 2013. № 9–10,

№ 11–12, № 13. Ст. 88. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17/conv#n2054.

7. Рішення Конституційного Суду України № 8-р(II)/2024 від 18.07.2024. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v008p710-24/#Text

8. Про внесення зміни до частини сьомої статті 147 Закону України «Про судоустрій і статус суддів» щодо визначення територіальної підсудності судових справ: Закон України від 03.03.2022 № 2112-IX. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2112-20#Text

9. Про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення, Кримінального та Кримінального процесуального кодексів України щодо оптимізації діяльності спеціалістів у кримінальному провадженні: Закон України від 25.10.2024 № 4009-IX. *Відомості Верховної Ради України.* 2025. № 10. Ст. 26. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4009-20#n30

10. Топчій В.В. Особливості здійснення та реалізації кримінального провадження в умовах воєнного стану. *Ірпінський юридичний часопис: науковий журнал.* 2024. Вип. 2 (15). С. 233–242. DOI 10.33244/2617-4154.2(15).2024.233-242.

References

1. On the legal regime of martial law, Law of Ukraine No. 389-VIII (2015). *Vidomosti of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (28), Art. 250. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text

2. Hushchyn, O. O., Vlasenko, D. R., & Tyshchenko, O. I. (2022). Special regime of criminal proceedings under martial law: legislative innovations. *Legal Scientific Electronic Journal*, (5), 546–548. http://www.lsej.org.ua/5_2022/86.pdf

3. Zavtur, V. A. (2020). Assessment of the admissibility of evidence obtained in the manner of Art. 615 of the CPC of Ukraine. *Legal Life of Modern Ukraine*, 3, 269–274.

4. On amendments to the Criminal Procedural Code of Ukraine regarding the improvement of the procedure for conducting criminal proceedings under martial law, Law of Ukraine No. 2201-IX (2022). *Vidomosti of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (16), Art. 69. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2201-20#Text

5. Lazebnyi, A., & Volynets, V. (2022). Special regime of criminal proceedings under martial law. In *Counteracting criminal offenses under martial law* (p. 369). Kropyvnytskyi.

6. Criminal Procedural Code of Ukraine, Law of Ukraine No. 4651–VI (2012). *Vidomosti of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (9–13), Art. 88. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17/conv#n2054

7. Decision of the Constitutional Court of Ukraine No. 8-r(II)/2024 (2024, July 18). *Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine.* https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v008p710-24/#Text

8. On making changes to part seven of Article 147 of the Law of Ukraine "On the Judiciary and the Status of Judges" regarding the determination of the territorial jurisdiction of court cases, Law of Ukraine No. 2112-IX (2022). *Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine.* https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2112-20#Text

9. On amendments to the Code of Ukraine on Administrative Offenses, the Criminal and Criminal Procedural Codes of Ukraine regarding the optimization of the activities of specialists in criminal proceedings, Law of Ukraine No. 4009-IX (2024). *Vidomosti of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (10), Art. 26. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4009-20#n30

10. Topchii, V. V. (2024). Peculiarities of implementation and realization of criminal proceedings under martial law. *Irpin Law Journal: Scientific Journal*, 2(15), 233–242. https://doi.org/10.33244/2617-4154.2(15).2024.233-242

Семенюк-Прибатень Анна Вікторівна, кандидат юридичних наук, доцент, старший викладач кафедри археології, спеціальних історичних і правознавчих дисциплін Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський, Україна, https://orcid.org/0000-0003-0520-5083

Semeniuk-Prybaten Anna Viktorivna, Candidate of Law, Associate Professor, Senior Lecturer, Department of Archaeology, Special Historical and Legal Disciplines, Ivan Ohienko Kamianets-Podilskyi National University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine, https//orcid.org/0000-0003-0520-5083

ВПЛИВ КІБЕРВІЙНИ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЕВОЛЮЦІЮ КОНЦЕПЦІЇ «СПРАВЕДЛИВОЇ ВІЙНИ» (JUS AD BELLUM TA JUS IN BELLO)

THE IMPACT OF CYBERWAR AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE EVOLUTION OF THE CONCEPT OF «JUST WAR» (JUS AD BELLUM TA JUS IN BELLO)

Анотація

Стаття присвячена аналізу впливу сучасних технологій ведення війни — кібервійни та штучного інтелекту (зокрема летальних автономних систем озброєння, напівавтономних і AI-підтриманих безпілотних платформ) — на еволюцію класичної концепції «справедливої війни» в межах *jus ad bellum* та *jus in bello*. Метою дослідження є з'ясування того, яким чином цифровізація та автоматизація воєнних дій трансформують традиційні морально-правові критерії легітимності застосування сили та гуманності її ведення.

У статті окреслено історичні засади теорії справедливої війни від Августина Блаженного і Томи Аквінського до сучасних інтерпретацій Майкла Вальцера. Показано, що класичні принципи легітимної влади, справедливої причини, пропорційності, останнього засобу та розрізнення формувалися в умовах антропоцентричної війни та передбачали безпосередню моральну відповідальність людини за рішення щодо застосування насильства.

Проаналізовано кібервійну та застосування штучного інтелекту як чинники, що розмивають межі між миром і війною, наступом і обороною, а також ускладнюють питання атрибуції та відповідальності. Обґрунтовано, що ці процеси створюють нові виклики для принципів *jus ad bellum*, зокрема щодо визначення акту збройної агресії, легітимності превентивної самооборони та розвитку концепції *jus ante bellum* як превентивного нормативного виміру.

У межах *jus in bello* розглянуто проблеми дотримання принципів розрізнення, пропорційності, військової необхідності та відповідальності в умовах використання автономних і напівавтономних AI-систем. Аргументується, що зменшення рівня людського контролю над застосуванням сили породжує «сірі зони» моральної та юридичної відповідальності та підвищує ризики для цивільного населення.

Емпіричним підґрунтям дослідження слугує російсько-українська війна 2022–2026 рр., яка розглядається як показовий приклад масштабного використання безпілотних і AI-підтриманих систем, а також кібероперацій. Зроблено висновок про необхідність адаптації теорії справедливої війни до умов цифрової епохи шляхом запровадження стандартів «meaningful human control», подальшого розвитку *jus ante bellum* та оновлення норм міжнародного гуманітарного права щодо застосування штучного інтелекту у воєнній сфері.

Ключові слова: теорія справедливої війни, jus ad bellum, jus in bello, штучний інтелект, автономні системи озброєння, кібервійна, летальні автономні системи озброєння (LAWS), meaningful human control, російсько-українська війна, дрони з AI, відповідальність у війні, міжнародне гуманітарне право.

Abstract

This article analyzes the impact of contemporary modes of warfare—cyber warfare and artificial intelligence (AI), including lethal autonomous weapon systems as well as semi-autonomous and AI-enabled unmanned platforms—on the evolution of the classical concept of Just War within the frameworks of *jus ad bellum* and *jus in bello*. The purpose of the study is to determine how the digitalization and automation of military operations transform traditional moral and legal criteria governing the legitimacy of the use of force and the humane conduct of hostilities.

The article outlines the historical foundations of Just War theory, from Augustine of Hippo and Thomas Aquinas to modern interpretations developed by Michael Walzer. It demonstrates that classical principles—legitimate authority, just cause, proportionality, last resort, and distinction—were formulated within an anthropocentric paradigm of warfare and presupposed direct human moral responsibility for decisions concerning the use of violence.

Cyber warfare and artificial intelligence are examined as factors that blur the boundaries between war and peace, offense and defense, and complicate issues of attribution and responsibility. It is argued that these developments pose significant challenges to *jus ad bellum*, particularly with regard to identifying acts of armed aggression, assessing the legitimacy of anticipatory self-defense, and advancing the concept of *jus ante bellum* as a preventive normative framework.

Within the scope of *jus in bello*, the article addresses the difficulties of maintaining the principles of distinction, proportionality, military necessity, and responsibility in the context of autonomous and semi-autonomous AI systems. It is argued that the reduction of meaningful human control over the use of force generates "grey zones" of moral and legal accountability and increases risks to civilian populations.

The empirical basis of the study is the Russian–Ukrainian war of 2022–2026, examined as a representative case of large-scale deployment of unmanned and AI-supported systems as well as cyber operations. The article concludes that Just War theory must be adapted to the realities of the digital age through the institutionalization of standards of "meaningful human control," the further development of *jus ante bellum*, and the modernization of international humanitarian law governing the military use of artificial intelligence.

Keywords: Just War theory; *jus ad bellum*; *jus in bello*; artificial intelligence; autonomous weapon systems; cyber warfare; lethal autonomous weapon systems (LAWS); meaningful human control; the Russian–Ukrainian war; AI-enabled drones; responsibility in warfare; international humanitarian law.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку воєнних конфліктів характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій, кібервійни та систем штучного інтелекту, що докорінно змінюють спосіб застосування збройної сили. Використання автономних і напівавтономних систем озброєння, AI-підтриманих безпілотних платформ та кібероперацій трансформує не лише тактику й стратегію війни, але й фундаментальні морально-правові засади її легітимації та ведення. У цих умовах класична теорія справедливої війни, сформована в межах антропоцентричної моделі збройного протистояння, стикається з новими викликами, на які вона не має однозначних відповідей.

Особливо проблематичним є застосування традиційних критеріїв *jus ad bellum* у ситуаціях, коли агресія здійснюється у кіберпросторі або за допомогою автономних систем, що ускладнює ідентифікацію нападника, визначення моменту початку збройного конфлікту та оцінку легітимності превентивної самооборони. Виникають «сірі зони» між миром і війною, які не повністю охоплюються чинними нормами міжнародного права та класичними концепціями справедливої причини, легітимної влади й пропорційності застосування сили. У зв'язку з цим актуалізується потреба переосмислення *jus ante bellum* як превентивного нормативного виміру, спрямованого на обмеження ризиків ескалації ще до початку відкритих бойових дій.

Не менш гострою є проблема дотримання принципів *jus in bello* в умовах використання штучного інтелекту у воєнній сфері. Автономні та напівавтономні системи озброєння ставлять під сумнів можливість ефективного забезпечення принципів розрізнення, пропорційності та військової необхідності, а також породжують складні питання моральної й юридичної відповідальності за заподіяну шкоду. Зменшення рівня безпосереднього людського контролю над рішеннями про застосування сили загострює ризики для цивільного населення та виявляє обмеженість чинних механізмів міжнародного гуманітарного права.

У цьому контексті особливого значення набуває російсько-українська війна 2022–2026 рр., яка стала одним із перших збройних конфліктів із масштабним і системним використанням безпілотних, напівавтономних та AI-підтриманих систем, а також кібервійськових засобів. Досвід цього конфлікту засвідчує нагальну потребу теоретичного та нормативного оновлення концепції справедливої війни, зокрема через закріплення принципу «meaningful human control», уточнення режиму відповідальності та

адаптацію норм міжнародного гуманітарного права до реалій цифрової війни.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблематика теорії справедливої війни має ґрунтовну історіографічну традицію, що бере початок у працях Августина Блаженного та Томи Аквінського, в яких було сформульовано базові моральні умови легітимного застосування збройної сили. У сучасному світському дискурсі ключовий внесок у розвиток концепції справедливої війни здійснили Майкл Вальцер, Браян Оренд, Джефф Макмахан та Сесіль Фабр, які розвинули та критично переосмислили принципи *jus ad bellum* і *jus in bello* в контексті міжнародного права, прав людини та асиметричних конфліктів. Водночас більшість цих досліджень ґрунтуються на уявленні про людину як центрального суб'єкта прийняття рішень щодо застосування сили.

Окремий масив наукових праць присвячений правовим та етичним аспектам кібервійни. Зокрема, у роботах Майкла Шмітта керівництва з міжнародного права, а також дослідженнях Томаса Ріда та Лукаса Келло аналізуються питання порогу збройного нападу, атрибуції та відповідальності у кіберпросторі. Проте зазначені підходи здебільшого зосереджені на міжнародно-правових аспектах кібероперацій і лише частково інтегрують морально-філософські критерії теорії справедливої війни, що обмежує їхній пояснювальний потенціал у контексті комплексної цифрової війни.

Значна кількість сучасних досліджень присвячена автономним системам озброєння та використанню штучного інтелекту у воєнній сфері. У працях Пітера Асаро, Роберта Спарроу, Ноеля Шаркі, Марка Куммера та Андерсона і Вакса розглядаються проблеми моральної агентності машин, відповідальності за рішення автономних систем і дотримання принципів розрізнення та пропорційності. Особливе місце посідає концепція

«meaningful human control», яка активно обговорюється в межах ООН та академічного середовища як потенційний нормативний стандарт. Водночас ці дослідження часто ізольовано аналізують або етичні, або правові аспекти, не завжди інтегруючи їх у цілісну рамку теорії справедливої війни.

У вітчизняній науці питання легітимності застосування сили, агресії та самооборони в контексті jus ad bellum і Статуту ООН ґрунтовно розробляються у працях О. Задорожнього, В. Мицика та М. Хаустової. Проблеми дотримання норм міжнародного гуманітарного права та кваліфікації воєнних злочинів у межах jus in bello висвітлюються в дослідженнях М. Гнатовського. Питання гібридної війни, інформаційного протиборства та кіберзагроз аналізуються в роботах Г. Перепелиці, Є. Магди, В. Горбуліна та В. Ліпкана. Окремі аспекти правового регулювання безпілотних систем і новітніх воєнних технологій порушуються у публікаціях С. Головатого, Ю. Шемшученка, однак без системного залучення теорії справедливої війни. Загалом вітчизняні дослідження демонструють значний правовий і безпековий доробок, водночас залишаючи недостатньо розробленим комплексний аналіз впливу штучного інтелекту та кібервійни на еволюцію jus ad bellum і jus in bello.

Мета статті полягає у дослідження впливу кібервійни та технологій штучного інтелекту на трансформацію двох ключових складових концепції справедливої війни — *jus ad bellum* (право на застосування сили) та *jus in bello* (право ведення війни).

Виклад основного матеріалу дослідження. Теорія справедливої війни має глибоке коріння в християнській традиції. Августин Блаженний (354–430) у праці «Про град Божий» сформулював основні умови правомірності війни: легітимна влада, справедлива причина та правильний намір [1]. Фома Аквінський у «Сумі теології» додав критерії необхідності та пропорційності, а також принцип подвійного ефекту [2].

У XVII столітті Гуго Гроцій у трактаті «Про право війни і миру» секуляризував концепцію, спираючись на природне право [3]. Емер де Ваттель у XVIII ст. підкреслив обов'язок мінімізувати страждання цивільного населення [4]. У XX столітті Майкл Вальцер у книзі «Just and Unjust Wars» (1977) адаптував теорію до сучасних реалій, акцентуючи моральну відповідальність комбатантів та принцип розрізнення між військовими та цивільними цілями [5].

На початку 2020-х років відбулося швидке впровадження систем, що використовують ШІ: автономні бойові дрони, системи рою дронів (drone swarms), алгоритми для аналізу розвідданих та кіберзброя. Прикладами є використання Туреччиною дронів Bayraktar TB2 у Нагірному Карабаху (2020), а також масове застосування ШІ-підтриманих БПЛА в російсько-українській війні з 2022 року [6].

Кібероперації, такі як атаки на енергетичну інфраструктуру (наприклад, Україна 2015–2016 рр., Іран 2010 р. — Stuxnet), також ставлять питання про те, чи можна їх вважати актами війни в класичному сенсі.

Традиційно jus ad bellum охоплює такі критерії, як наявність справедливої причини, легітимної влади, застосування сили як останнього засобу, дотримання принципу пропорційності та обґрунтована ймовірність успіху. Водночас розвиток кібервійни та технологій штучного інтелекту породжує низку принципово нових проблем для реалізації цих критеріїв [12].

По-перше, актуалізується проблема автономної ескалації. Системи раннього попередження, кіберзахисту або автоматизованого реагування здатні самостійно відповідати на виявлені загрози, що фактично означає делегування рішення про початок бойових дій машинним алгоритмам. Така практика суперечить принципу легітимної влади, який передбачає виключно людський характер ухвалення рішень про застосування сили [7].

По-друге, застосування алгоритмічних систем у сфері безпеки ускладнює розмежування між допустимою самообороною та превентивною (упереджувальною) дією. Алгоритми можуть інтерпретувати певні дії противника — зокрема переміщення військ або підвищену кіберактивність — як підготовку до нападу та рекомендувати завдання превентивного удару. Подібний підхід виходить за межі класичного розуміння «неминучої загрози» (imminent threat), закріпленого у міжнародному праві [8].

По-третє, у науковій доктрині формується концепція jus ante bellum, яка передбачає морально-правову оцінку ще на етапі розроблення, тестування та розгортання озброєнь із використанням штучного інтелекту. Деякі дослідники обґрунтовують доцільність запровадження механізмів етичної сертифікації систем ШІ як складової права до війни, що покликане запобігти потенційно неконтрольованій ескалації збройних конфліктів [9].

Jus in bello грунтується на базових принципах розрізнення, пропорційності, військової необхідності та гуманного поводження. Водночас використання технологій штучного інтелекту й кібератак істотно ускладнює їх практичну реалізацію та доктринальне тлумачення.

Передусім проблемним залишається принцип розрізнення. Сучасні системи штучного інтелекту все ще мають істотні обмеження у здатності точно ідентифікувати цивільні об’єкти та осіб у складних умовах ведення бойових дій, зокрема в щільно забудованих міських середовищах або за наявності змішаних цивільно-військових об’єктів. Алгоритмічні помилки у таких ситуаціях можуть призводити до непропорційної шкоди цивільному населенню та об’єктам цивільної інфраструктури [10].

Не менш дискусійними є питання пропорційності та військової необхідності. Алгоритмічні системи, як правило, оптимізують рішення відповідно до заданих технічних параметрів (наприклад, максимізації ефективності ураження або мінімізації власних втрат), однак вони не здатні

здійснювати моральне оцінювання конкретної ситуації. У результаті можуть формуватися рішення, які є «статистично обґрунтованими», але водночас викликають серйозні етичні сумніви з погляду міжнародного гуманітарного права [12].

Окрему складність становить проблема юридичної відповідальності. Класична модель jus in bello покладає відповідальність за порушення норм міжнародного гуманітарного права на командира та безпосереднього виконавця. У разі застосування автономних систем озброєння виникає так званий responsibility gap — невизначеність щодо того, хто саме має нести відповідальність за заподіяну шкоду: розробник алгоритму, програміст, командир підрозділу чи виробник відповідної системи [17, 21].

У цьому контексті також звертає на себе увагу явище морального дескілінгу, на яке вказує Роберт Сперроу. На його думку, дистанційне управління бойовими системами та зростаюча довіра до алгоритмічних рішень знижують рівень моральної чутливості операторів і послаблюють особисте відчуття відповідальності за наслідки застосування сили [13].

Нарешті, окремого аналізу потребує кібервійна як новий вимір jus in bello. Дотепер залишається відкритим питання, чи поширюється принцип розрізнення на кібератаки, спрямовані проти цивільної інфраструктури, а також чи може, наприклад, відключення електропостачання у великому місті вважатися пропорційною відповіддю на кібератаку. Відсутність усталеної міжнародної практики у цій сфері свідчить про необхідність подальшого нормативного та доктринального осмислення зазначених проблем [14].

Російсько-українська війна з 2022 року стала першим масштабним конфліктом, де системи з елементами штучного інтелекту (ШІ) та напівавтономні дрони застосовуються щодня та в промислових масштабах. За оцінками, дрони вже спричиняють близько 70 % втрат російських сил з початку повномасштабного вторгнення.

У 2025 році відбулося якісне зростання: українські сили перейшли від суто ручного керування FPV-дронами до систем з AI-підтримкою для автономного проходження маршруту, розпізнавання цілей у термінальній фазі та «lock-on-target» з подальшим переслідуванням без постійного втручання оператора [13]. Приклади включають дрони з машинним зором (наприклад, Saker Scout, здатний виявляти до 64 цілей автономно) та масове впровадження AI-модулів, які підвищують імовірність ураження з 10–20 % до 70–80 %.

У грудні 2025 – січні 2026 рр. з'явилися повідомлення про дрони, які після фіксації цілі повністю автономно переслідують і вражають її без подальшого людського контролю. Водночас Україна активно розвиває системи протидії — AI-перехоплювачі та Dataroom (спільно з Palantir), що аналізує мільйони даних для прогнозування атак та автоматичного наведення [18].

Сучасні умови збройного конфлікту в Україні породжують низку серйозних викликів для реалізації принципів jus in bello. Насамперед складним залишається дотримання принципів розрізнення та пропорційності у режимі реального часу: в щільно населених районах алгоритмічні системи нерідко помиляються у класифікації комбатантів і цивільних осіб, особливо за умов руйнувань та обмеженої видимості, що підтверджується дослідженнями 2025 року.

Водночас проблемним є забезпечення значущого людського контролю. Хоча на етапі вибору цілі рішення ухвалюються за участю людини, у фінальній фазі застосування зброї контроль часто зменшується, утворюючи правову невизначеність між напівавтономними та автономними системами озброєння. Це безпосередньо пов'язано з проблемою відповідальності та підзвітності, оскільки у випадку помилок AI-систем складно встановити

чіткий ланцюг відповідальних осіб — від розробника до військового командира [12, 19].

Додаткові ризики створює масштабування використання дронів із функціями штучного інтелекту, що підвищує ймовірність непередбачуваних наслідків для цивільного населення. У відповідь на ці виклики Україна активно порушує відповідні питання на міжнародних майданчиках ООН і CCW, наголошуючи на необхідності збереження людського контролю та оновлення норм міжнародного гуманітарного права [22]. Практика війни свідчить, що чинні положення Женевських конвенцій та Додаткового протоколу I потребують подальшої адаптації до сучасних технологічних реалій [16, 20].

Міжнародна спільнота демонструє значні розбіжності щодо регулювання летальних автономних систем озброєння (LAWS). Група урядових експертів ООН (GGE LAWS) продовжує обговорення, проте досягти консенсусу щодо повної заборони не вдалося. У цьому контексті Міжнародний комітет Червоного Хреста (ICRC) наголошує на необхідності збереження *meaningful human control* при застосуванні сили, підкреслюючи відповідальність людини на всіх етапах прийняття рішень [23].

Водночас позиції окремих держав істотно відрізняються. США та росія виступають проти жорстких заборон на застосування автономних систем, мотивуючи це збереженням технологічної переваги та забезпеченням національної безпеки [15]. На противагу цьому, Україна активно піднімає питання використання ШІ-зброї у контексті російської агресії, закликаючи до міжнародного регулювання та формування чітких стандартів відповідальності [11].

Таким чином, сучасна міжнародна дискусія демонструє потребу у балансуванні між інноваційними технологіями, безпековими пріоритетами

держав та принципами міжнародного гуманітарного права, особливо в умовах реального застосування автономних систем у збройних конфліктах.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Класична теорія справедливої війни зберігає свою актуальність, проте потребує адаптації до сучасних умов, зокрема впровадження технологій штучного інтелекту та кібероперацій. Основні виклики полягають у делегуванні моральних рішень алгоритмам, проблемі визначення юридичної та моральної відповідальності, а також у розмитті меж між війною та мирним часом у кіберпросторі.

Перспективи розвитку концепції включають:

- запровадження міжнародних стандартів *meaningful human control* для автономних систем озброєння;
- розробку концепції *jus ante bellum* для етичної оцінки застосування ШІ-зброї;
- розширення принципів пропорційності та розрізнення з урахуванням кібероперацій.

Без таких оновлень теорія справедливої війни ризикує втратити свою регулятивну функцію та ефективність у контексті автономної та кібернетичної війни.

Список використаних джерел

1. Августин Блаженний. *Про град Божий*: Penguin Classics, 2003. 426 с.

2. Фома Аквінський. *Сума теології.* London: Blackfriars, T. 1, 1964. 1273 с.

3. Гроцій Г. *Про право війни і миру*. Oxford: Clarendon Press, 1925. 678 с.

4. Ваттель Е. *Дипломатія та закони війни*. 1758. 412 с.

5. Walzer, M. *Just and Unjust Wars: A Moral Argument with Historical Illustrations.* New York: Basic Books, 1977. 456 p.

6. Ганенко І. С., Корнієнко О. О., Шут В. О. Правове регулювання застосування новітніх військових технологій (ШІ, автономні системи) у контексті міжнародного гуманітарного права // *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2025. Т. 3, № 6. https://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/347388 (дата звернення 01.02.2026)

7. Кутовий О. В., Бурма С. К. Автономні системи озброєнь і ШІ як виклик міжнародному гуманітарному праву // *Науковий вісник Ужгородського нац. ун-ту. Серія: Право*. 2025. № 90. https://visnyk-pravo.uzhnu.edu.ua/article/view/340848 (дата звернення 08.01.2026)

8. Деркач О. О., Забара І. М. Технології військового ШІ: сучасні міжнародно-правові напрямки наукових досліджень // *Науковий вісник Ужгородського нац. ун-ту. Серія: Право*. 2024. № 86. https://visnyk-pravo.uzhnu.edu.ua/article/view/321386 (дата звернення 08.01.2026)

9. Міжнародне гуманітарне право. Посібник для юриста / [О.О. Войтенко, М.М. Гнатовський, Т.Р. Короткий, А.О. Кориневич, В.М. Лисик, О.Р. Поєдинок, Н.В. Хендель]; за ред. Т.Р. Короткого. Київ-Одеса: Українська гельсінська спілка з прав людини, Фенікс, 2016. 2017. 145с. https://www.helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/03/WEB_01-2.pdf

10. Хаустова М. Г. Державна політика в сфері прав людини в епоху цифрових трансформацій. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету*. Серія ПРАВО. Вип. 69. 2022. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.69.55 (дата звернення 07.02.2026)

11. Українці ведуть справедливу війну https://md-eksperiment.org/post/20220329-ukrayinci-vedut-spravedlivu-vijnu (дата звернення 15.01.2026)

12. Бланшар А., Таддео М. Автономні системи озброєння та *jus ad bellum*. *AI ma Soc* 39, 2024. 705–711. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01425-y (дата звернення 05.02.2026)

13. Regan M, Davidovic J. Just preparation for war and AI-enabled weapons. Front Big Data. 2023 May 12. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37252130/ (дата звернення 05.02.2026)

14. Требін М. Концепція справедливої війни. *Філософія в сучасному світі : матеріали V Міжн. наук.-практ. конференції*, 22–24 листопада 2024 р. Харків, 2024. С. 181-185.

15. Перепелиця Г. Вплив російсько-української війни на майбутнє регіональної безпеки в Центрально-Східній Європі. *Медіафорум : аналітика, прогнози, інформаційний менеджмент*. Вип. 15. С. 11-41. https://doi.org/10.31861/mediaforum.2024.15.11-41 (дата звернення 05.01.2026)

16. Євген Магда. Гібридна агресія Росії: уроки для Європи. https://krytyka.com/ua/reviews/hibrydna-ahresiya-rosiyi-uroky-dlya-ievropy (дата звернення 15.01.2026)

17. Кравчук С. Вплив штучного інтелекту на права людини та загальні рекомендації для сталого втілення. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: "Юридичні науки"*. Т. 11, № 3 (43). 2024. С. 101-110. https://doi.org/10.23939/law2024.43.101 (дата звернення 25.01.2026)

18. Авдєєва Г. К. Системи штучного інтелекту як засоби протидії інформаційній війні в Україні. *Національна безпека України в умовах інформатизації та глобалізації суспільних процесів: сучасні загрози та кримінально-правове регулювання :* матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 11 трав. 2023 р.). Нац. юрид. ун-т ім. Ярослава Мудрого ; НДІ вивч. проблем злочинності ім. акад. В. В. Сташиса Нац. акад. прав. наук

України ; Громад. орг. «Всеукр. асоц. кримін. права». Харків, 2023. С. 281–287.

19. М. С. Гнідовський, М. А. Сергієнко, Б. Є. Лук'янчиков. Правова відповідальність за дії штучного інтелекту: виклики та перспективи регулювання. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право.* Т. 3 № 92. 2025. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.92.3.10 (дата звернення 05.02.2026)

20. Регламент (ЄС) 2024/1689 Європейського Парламенту та Ради про штучний інтелект (Закон про ШІ). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/LSU/?uri=oj%3AL_202401689&utm_source (дата звернення 05.02.2026)

21. Невара Л. Міжнародно-правова відповідальність за кібератаки під час збройного конфлікту крізь призму міжнародного гуманітарного права. *Право України*. № 3. 2024. С. 34-44. https://pravoua.com.ua/storage/files/magazines/files/pravoukr-2024-3-pravo_2024_3.pdf

22. Рамкова конвенція про штучний інтелект та права людини. URL: https://rm.coe.int/1680afae3c (дата звернення 05.01.2026)

23. Трегубенко С. В. Роль Міжнародного комітету Червоного Хреста як нейтрального посередника у збройних конфліктах та захисті прав військовополонених. *Вісник кримінального судочинства*, №1-2. 2025. С. 281-291. https://doi.org/10.17721/2413-5372.2025.1-2/281-291 (дата звернення 05.02.2026)

References

1. Avhustyn Blazhennyi. *Pro Hrad Bozhyi*. London: Penguin Classics, 2003.
2. Foma Akvinskyi. *Suma teolohii*. Vol. 1. London: Blackfriars, 1964.
3. Grotius H. *De Jure Belli ac Pacis*. Oxford: Clarendon Press, 1925.

4. Vattel E. *Le Droit des gens, ou Principes de la loi naturelle*. 1758.

5. Walzer M. *Just and Unjust Wars: A Moral Argument with Historical Illustrations*. New York: Basic Books, 1977.

6. Hanenko I.S., Korniienko O.O., Shut V.O. Pravove rehuliuvannia zastosuvannia novitnikh viiskovykh tekhnolohii (ShI, avtonomni systemy) u konteksti mizhnarodnoho humanitarnoho prava. *Analitychno-porivnialne pravoznavstvo*. 2025. Vol. 3, No. 6. URL: https://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/347388 (accessed 01.02.2026).

7. Kutovyi O.V., Burma S.K. Avtonomni systemy ozbroien i ShI yak vyklyk mizhnarodnomu humanitarnomu pravu. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Pravo*. 2025. No. 90. URL: https://visnyk-pravo.uzhnu.edu.ua/article/view/340848 (accessed 08.01.2026).

8. Derkach O.O., Zabara I.M. Tekhnolohii viiskovoho ShI: suchasni mizhnarodno-pravovi napriamky naukovykh doslidzhen. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Pravo*. 2024. No. 86. URL: https://visnyk-pravo.uzhnu.edu.ua/article/view/321386 (accessed 08.01.2026).

9. Voitenko O.O. et al. *Mizhnarodne humanitarne pravo. Posibnyk dlia yurysta*. Ed. T.R. Korotkyi. Kyiv–Odesa: Ukrainska Helsinska spilka z prav liudyny; Feniks, 2017. URL: https://www.helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/03/WEB_01-2.pdf (accessed 05.01.2026).

10. Khaustova M.H. Derzhavna polityka v sferi prav liudyny v epokhu tsyfrovykh transformatsii. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Pravo*. 2022. Issue 69. DOI: https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.69.55 (accessed 07.02.2026).

11. Ukraintsi vedut spravedlyvu viinu. URL: https://md-eksperiment.org/post/20220329-ukrayinci-vedut-spravedlivu-vijnu (accessed 15.01.2026).

12. Blanchard A., Taddeo M. Autonomous weapon systems and jus ad bellum. *AI & Society*. 2024. Vol. 39. P. 705–711. DOI: https://doi.org/10.1007/s00146-022-01425-y (accessed 05.02.2026).

13. Regan M., Davidovic J. Just preparation for war and AI-enabled weapons. *Frontiers in Big Data*. 2023. May 12. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37252130/ (accessed 05.02.2026).

14. Trebin M. Kontseptsiia spravedlyvoi viiny. *Filosofiia v suchasnomu sviti: materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Kharkiv, 22–24 November 2024). Kharkiv, 2024. P. 181–185.

15. Perepelytsia H. Vplyv rosiisko-ukrainskoi viiny na maibutnie rehionalnoi bezpeky v Tsentralno-Skhidnii Yevropi. *Mediaforum*. 2024. Issue 15. P. 11–41. DOI: https://doi.org/10.31861/mediaforum.2024.15.11-41 (accessed 05.01.2026).

16. Mahda Ye. Hibrydna ahresiia Rosii: uroky dlia Yevropy. URL: https://krytyka.com/ua/reviews/hibrydna-ahresiya-rosiyi-uroky-dlya-ievropy (accessed 15.01.2026).

17. Kravchuk S. Vplyv shtuchnoho intelektu na prava liudyny ta zahalni rekomendatsii dlia staloho vtilennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Seriia: Yurydychni nauky*. 2024. Vol. 11, No. 3 (43). P. 101–110. DOI: https://doi.org/10.23939/law2024.43.101 (accessed 25.01.2026).

18. Avdieieva H.K. Systemy shtuchnoho intelektu yak zasoby protydii informatsiinii viini v Ukraini. *Natsionalna bezpeka Ukrainy v umovakh informatyzatsii ta hlobalizatsii suspilnykh protsesiv: suchasni zahrozy ta kryminalno-pravove rehuliuvannia*: materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kharkiv, 11 May 2023). Kharkiv, 2023. P. 281–287.

19. Hnidovskyi M.S., Serhiienko M.A., Lukianchykov B.Ye. Pravova vidpovidalnist za dii shtuchnoho intelektu: vyklyky ta perspektyvy rehuliuvannia. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Pravo*. 2025.

Vol. 3, No. 92. DOI: https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.92.3.10 (accessed 05.02.2026).

20. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/LSU/?uri=oj%3AL_202401689 (accessed 05.02.2026).

21. Nevara L. Mizhnarodno-pravova vidpovidalnist za kiberataky pid chas zbroinoho konfliktu kriz pryzmu mizhnarodnoho humanitarnoho prava. *Pravo Ukrainy*. 2024. No. 3. P. 34–44. URL: https://pravoua.com.ua/storage/files/magazines/files/pravoukr-2024-3-pravo_2024_3.pdf (accessed 05.02.2026).

22. Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights. Council of Europe. URL: https://rm.coe.int/1680afae3c (accessed 05.01.2026).

23. Trehubenko S.V. Rol Mizhnarodnoho komitetu Chervonoho Khresta yak neitralnoho poserednyka u zbroinykh konfliktakh ta zakhysti prav viiskovopolonenykh. *Visnyk kryminalnoho sudochynstva*. 2025. No. 1–2. P. 281–291. DOI: https://doi.org/10.17721/2413-5372.2025.1-2/281-291 (accessed 05.02.2026).

Тимоць Мирослава Василівна, кандидат економічних наук, доцент, професор кафедри бізнесу та управління ЗВО «Університет Короля Данила», м. Івано-Франківськ, Україна, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0266-1756

Tymots Myroslava V., PhD in Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Business and Administration, King Danylo University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0266-1756

ОЦІНКА ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ В УМОВАХ ВОЄННОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

ASSESSMENT OF THE FINANCIAL AND ECONOMIC STABILITY OF BUSINESS ENTITIES UNDER CONDITIONS OF MILITARY INSTABILITY

Анотація

У статті досліджено теоретичні та методичні засади оцінювання фінансово-економічної стійкості суб'єктів господарювання в умовах воєнного стану. Актуальність теми обґрунтована безпрецедентними викликами для українського бізнесу: руйнуванням логістичних ланцюгів, втратою активів, зниженням споживчого попиту та нестабільністю національної валюти. Автором систематизовано ключові чинники впливу на життєздатність суб'єктів підприємництва. У роботі запропоновано комплексний підхід до оцінки стійкості, що базується на інтеграції кількісних показників (ліквідність, платоспроможність, автономія) та якісних параметрів (гнучкість управлінських рішень, рівень цифрової трансформації, безпека персоналу). Обґрунтовано, що в умовах воєнної

нестабільності традиційні методи фінансового аналізу потребують корегування через високу волатильність ринків та непередбачуваність ризиків. Проаналізовано стан кредитування бізнесу за програмами пільгового кредитування «5-7-9». На основі проведеного аналізу виділено стратегічні пріоритети зміцнення фінансового стану підприємств: диверсифікація ринків збуту, оптимізація витрат, а також залучення грантової підтримки та державних програм кредитування. Сформовано висновок, що моніторинг фінансово-економічної стійкості має стати безперервним процесом, який дозволяє суб'єктам господарювання вчасно ідентифікувати критичні точки падіння та розробляти превентивні заходи для збереження ринкових позицій у поствоєнний період.

Ключові слова: фінансово-економічна стійкість, суб'єкти господарювання, воєнна нестабільність, управління, фінансові ризики, релокація бізнесу, кризовий менеджмент.

Abstract

The article explores the theoretical and methodological foundations for assessing the financial and economic stability of business entities under martial law. The relevance of the topic is justified by the unprecedented challenges facing Ukrainian business: the disruption of logistics chains, loss of assets, decline in consumer demand, and instability of the national currency. The author systematizes key factors influencing the viability of business entities. The paper proposes a comprehensive approach to stability assessment based on the integration of quantitative indicators (liquidity, solvency, autonomy) and qualitative parameters (flexibility of management decisions, level of digital transformation, personnel safety). It is substantiated that under conditions of military instability, traditional methods of financial analysis require adjustment due to high market volatility and unpredictability of risks. The state of business

lending under the "5-7-9" affordable loan programs is analyzed. Based on the analysis, strategic priorities for strengthening the financial position of enterprises are identified: diversification of sales markets, cost optimization, as well as the involvement of grant support and state lending programs. The conclusion is formed that monitoring financial and economic stability should become a continuous process, allowing business entities to identify critical decline points in time and develop preventive measures to maintain market positions in the post-war period.

Keywords: financial and economic stability, business entities, military instability, management, financial risks, business relocation, crisis management.

Постановка проблеми. Повномасштабна військова агресія проти України докорінно змінила умови функціонування вітчизняного бізнесу, перетворивши традиційні ризики на екзистенційні загрози. У сучасних умовах фінансово-економічна стійкість суб'єктів господарювання перестала бути просто показником ефективності, перетворившись на базову умову виживання в агресивному зовнішньому середовищі.

За умов високої невизначеності традиційні жорсткі моделі управління втрачають ефективність, і підприємствам потрібні адаптивні, ризик-орієнтовані стратегії з елементами agile-управління. Тобто, фінансово-економічна стійкість – це не лише кількісні показники, але й управлінська здатність швидко реагувати на зміни, диверсифікувати джерела фінансування та утримувати фінансову рівновагу.

Аналіз досліджень. Окремі аспекти впливу воєнних процесів на діяльність суб'єктів господарювання, стійкість бізнесу, адаптацію управлінських рішень і трансформацію бізнес-моделей досліджували Г.І. Карпюк, В.В. Швед, О.В. Омельченко, О.А. Таран, І.А. Дернова,

Т.М. Боровик, З.Я. Шацька, Я.І. Горбачов, В.М. Марченко, І. Томащук, Т. Мельник та ін.

За даними аналітичних досліджень В.В. Зимовця, багато українських підприємств виходили на війну з «захисною моделлю» фінансування, тобто низькою ліквідністю та обмеженими запасами грошових коштів. Водночас ті підприємства, які продовжували діяльність у 2022 р., зуміли зберегти близькі до довоєнних показники ліквідності. За результатами перших 9 місяців 2022 р. коефіцієнт загальної ліквідності й коефіцієнт фінансової стійкості великих та середніх промислових підприємств залишилися на рівні 2021 р. Це пояснюють тим, що донедавна «відносно низька ліквідність» була характерною для багатьох великих компаній (консервативний підхід до грошових ресурсів), і завдяки адаптованим фінансовим моделям ці підприємства показали високу здатність пристосуватися до умов війни [1, с. 25].

Попри наявність наукових напрацювань, проблема комплексної оцінки впливу війни на розвиток підприємництва залишається недостатньо опрацьованою, що зумовлює необхідність подальших досліджень із урахуванням трансформацій бізнес-моделей, інструментів адаптації та показників стійкості підприємницької діяльності в умовах воєнної нестабільності.

Мета статті. Дослідити теоретичні та методичні засади оцінювання фінансово-економічної стійкості суб'єктів господарювання в умовах воєнного стану. Систематизувати ключові чинники впливу на фінансову-економічну стійкість суб'єктів підприємництва.

Результати дослідження. Воєнні умови зумовили глибоку перебудову механізмів функціонування українських підприємств, що проявилося у переході від стратегічного планування до переважно оперативного управління. Бізнес зосередився на збереженні фінансової

стійкості, швидкому перерозподілі ресурсів і адаптації до ризиків. У перші тижні війни приблизно 43% МСП були вимушені призупинити діяльність. Основними ризиками для ліквідності малого бізнесу називають: падіння платоспроможного попиту, брак обігових коштів, енергетичну нестабільність і кадровий дефіцит. Так, опитування показали, що обмежений доступ до фінансування та обігового капіталу – один із ключових викликів для МСП [2]. У пріоритеті антикризового управління підприємства повинні ретельно аналізувати рух коштів, проводити стрес-тестування грошових запасів і за потреби переорієнтовувати витрати на найважливіші операційні потреби.

Дані табл. 1 засвідчують збереження загального обсягу кредитування корпорацій у 2022 р. з незначним приростом, що відбулося насамперед за рахунок збільшення кредитів у національній валюті.

Водночас кредитування в іноземній валюті скоротилося, що відображає зростання валютних ризиків і переорієнтацію банків на гривневі інструменти. Обсяги кредитів домогосподарствам зменшилися, передусім у національній валюті, тоді як у промисловості зафіксовано спад загального кредитування при одночасному зростанні гривневого сегмента.

Упродовж наступних років спостерігалося стале зростання як кількості наданих кредитів, так і їх сукупного обсягу, що відображає розширення доступу бізнесу до пільгових фінансових ресурсів.

У 2024 р. зафіксовано незначне скорочення кількості та суми кредитів, однак частка програми в загальному кредитуванні бізнесу досягла максимального рівня (табл. 2).

Динаміка показників ефективності програми «Доступні кредити 5-7-9%» у 2021-7 місяцях 2025 рр. демонструє трансформацію її функціонального призначення від інструмента стимулювання розвитку до механізму фінансової стабілізації бізнесу (рис. 1).

Таблиця 1

Окремі показники кредитування бізнесу українськими банками, млн. грн.

Показник	2021	2022	Зміни у 2022 р.	2022 р. у % до 2021 р.
Кредити, надані НФК	752,3	754,4	2,0	100,3
у т.ч. у нацвалюті	484,1	504,3	20,2	104,2
у т.ч. в іноземній валюті	268,3	250,1	-18,2	93
в іноземній валюті	9,9	6,8	-3,0	69
Кредити домогосподарствам	254,4	238,4	-16,0	94
у т.ч. у нацвалюті	232,9	215,3	-17,6	92
у т.ч. в іноземній валюті	21,5	23,1	1,7	108
в іноземній валюті	0,8	0,6	-0,2	80
Кредити, надані промисловості	222,0	210,7	-11,3	95
у нацвалюті	88,0	94,1	6,1	106,9
в іноземній валюті	134,0	116,6	-17,4	87
в іноземній валюті	4,9	3,2	-1,7	65
Співвідношення заборгованості за кредитами у національній валюті підприємствам промисловості та заборгованості за кредитами домогосподарствам, %	37,8	43,7	5,9	—

Джерело: [1, с. 28]

Таблиця 2

Динаміка розвитку програми «Доступні кредити 5-7-9%» у 2020-2024 рр.

Період	Кількість кредитів (тис.)	Сума кредитів (млн. грн.)	Частка в загальному кредитуванні бізнесу (%)
2020	15,2	42,8	18
2021	28,5	89,4	25
2022	35,8	112,7	32
2023	41,2	128,5	38
2024	38,9	125,3	40

Джерело: [1, с. 28]



Рисунок 1. Показники ефективності програми «Доступні кредити 5-7-9%» у 2021-7 міс. 2025 р.

Джерело: [3, с. 106]

Зростання частки програми в загальному корпоративному кредитуванні відбувалося паралельно з утриманням процентних ставок на рівні, істотно нижчому за ринковий, що створювало для підприємств умови підтримання ліквідності за обмеженого доступу до альтернативних джерел фінансування. Водночас поступове підвищення рівня проблемних кредитів не набуло системного характеру, що вказує на адаптацію як позичальників, так і банків до воєнних ризиків. Збільшення податкових надходжень від учасників програми свідчить не про розширення бізнес-активності, а про збереження операційної спроможності підприємств і відновлення їх участі у фіскальних процесах.

Підприємства активно шукали можливості реструктуризувати короткострокові зобов'язання (наприклад, зсув строків податкових і кредитних платежів) для збереження ліквідності. Важливо, що державні

банки та міжнародні партнери розширювали програми кредитних гарантій і дотепно відслідковували «рівень боргового навантаження» кожної галузі. У цілому, диверсифікація джерел фінансування (власні кошти, кредити, гранти, емісія облігацій) та здатність швидко адаптувати структуру капіталу стали вагомими чинниками фінансової гнучкості і стійкості під час війни.

Різні за масштабом компанії демонструють неоднакову стійкість до воєнних викликів. Мікропідприємства та ФОПи в Україні виявилися найбільш вразливими. У І півріччі 2025 р. понад 95% усіх закритих бізнес-структур припадало саме на приватних підприємців. Тобто, мікробізнес не має достатньої фінансової подушки і швидко реагує на шоки припиненням діяльності. Натомість компанії та організовані юридичні особи зберігають позитивний баланс між новими реєстраціями та закриттями, що поступово змінює структуру підприємництва на користь стійкіших організаційних форм.

За даними нещодавніх опитувань, у 2022-2025 роках невеликі та середні підприємства повільно, але відновлювали активність. З початку повномасштабної війни лише 57% МСП працювали, у 2023 р. 84% повернулися до роботи (частково або повністю), а у 2024-2025 рр. цей показник стабілізувався на рівні 85%. Водночас зміни у фінансових результатах були неоднаковими. Великі підприємства зазвичай отримали державні замовлення і зберігали прибутковість, тоді як малі фірми в цілому продовжували «працювати на ліквідність» – їхня рентабельність часто залишалася нижчою за довоєнну(рис. 2) [3].

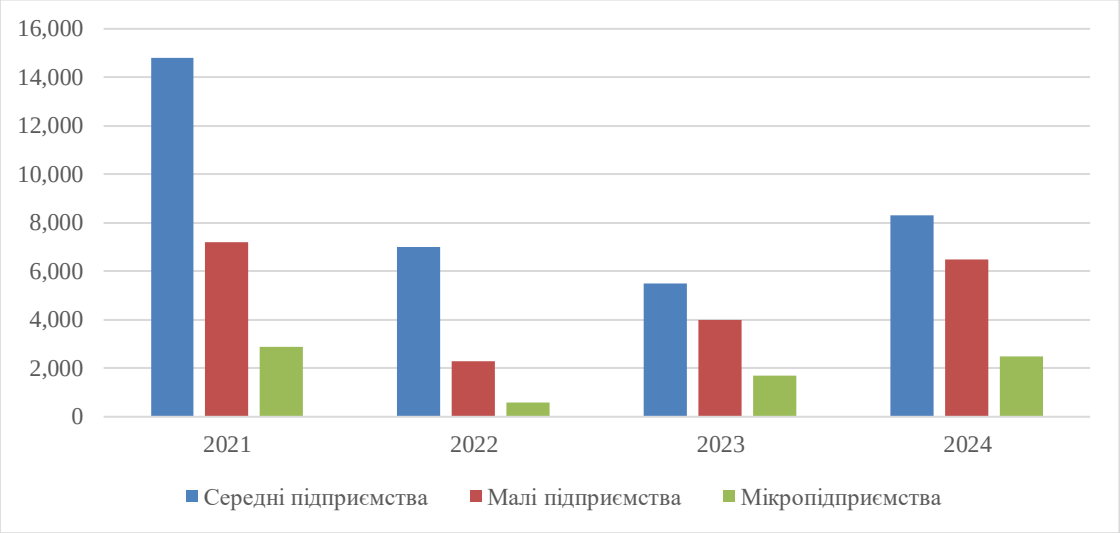


Рисунок 2. Фінансовий результат (сальдо) до оподаткування за розміром підприємств у 2021-2024 роках, млн. грн.

Для оцінки комплексної стійкості використовують інтегральні фінансові індикатори – наприклад, показники фінансової автономії, фінансового ризику, коефіцієнти покриття зобов'язань тощо. Однак за воєнних умов стають актуальними й оперативні «індекси очікувань ділової активності». НБУ розраховує та оприлюднює щомісячний індекс очікувань ділової активності (далі – ІОДА), який базується на опитуваннях підприємств. У вересні 2025 р. цей індекс зріс до 50,4 (порівняно з 49,0 у серпні і 48,7 у вересні 2024), що свідчить про помірно позитивні очікування

бізнесу (рис. 3).

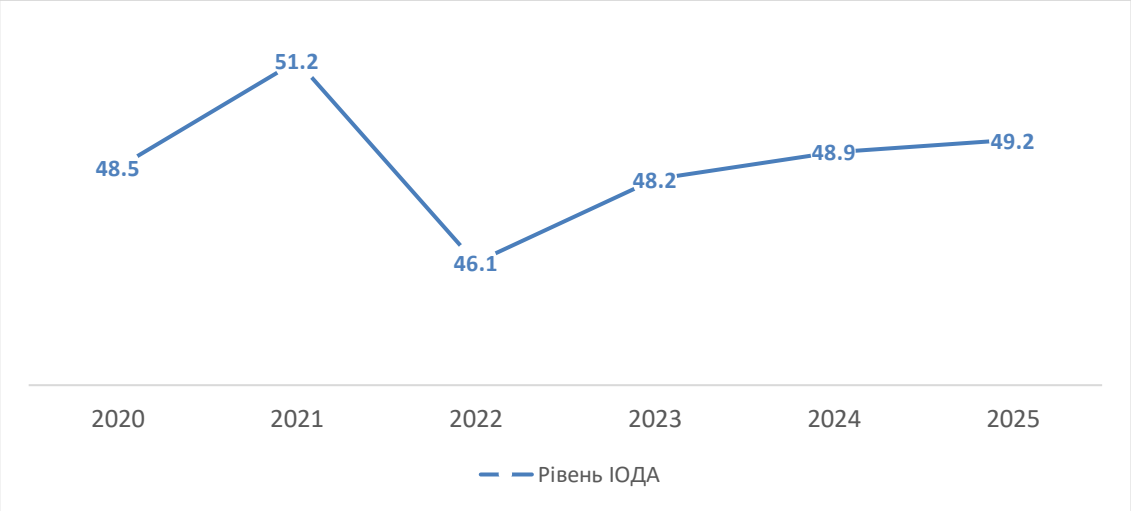


Рисунок 3. Динаміка індексу очікуваної ділової активності підприємств (ІОДА) України у 2020-2025 рр.

Джерело: [4].

Загалом ІОДА вище 50 вказує на оптимістичні прогнози (принаймні у короткостроковому плані), тоді як показники нижче 50 – на песимізм.

Попри поступове наближення індексу очікуваної ділової активності до нейтрального рівня у 2024-2025 роках, характер ділових очікувань підприємств залишається нестабільним, що зумовлює збереження підвищених фінансово-економічних ризиків. Коливання значень ІОДА навколо порогового рівня 50 пунктів відображають не стійке відновлення, а адаптаційну поведінку бізнесу в умовах тривалої воєнної невизначеності, за якої позитивні очікування формуються паралельно з високою чутливістю до зовнішніх шоків.

На основі складеної матриці ризиків підприємств станом на 2025 р. (табл. 3) встановлено, що ключові загрози фінансово-економічній стійкості концентруються у сфері управління ліквідністю та грошовими потоками. Найвищий рівень ризику формують дефіцит обігових коштів і касові розриви, які безпосередньо пов’язані з нестабільністю попиту, затримками

розрахунків та зростанням витрат. Високий ступінь впливу також зберігають боргові та енергетичні ризики, що посилюють залежність підприємств від зовнішніх джерел фінансування та державних механізмів підтримки.

Таблиця 3

Матриця ризиків підприємств в умовах воєнної нестабільності

Вид ризику	Ймовірність реалізації	Потенційний вплив	Рівень ризику
Дефіцит обігових коштів	Висока	Високий	**Критичний**
Порушення грошових потоків (касові розриви)	Висока	Високий	**Критичний**
Зростання боргового навантаження	Середня	Високий	**Високий**
Обмежений доступ до кредитних ресурсів	Середня	Середній	**Суттєвий**
Зниження рентабельності діяльності	Висока	Середній	**Високий**
Зростання частки проблемної дебіторської заборгованості	Середня	Середній	**Суттєвий**
Валютний ризик	Середня	Середній	**Суттєвий**
Енергетична нестабільність	Середня	Високий	**Високий**
Логістичні збої	Низька–середня	Середній	**Помірний**
Кадрові втрати та міграція персоналу	Середня	Середній	**Суттєвий**

Джерело: складено на основі аналізу фінансових показників діяльності підприємств

Отже, аналіз показав, що в умовах воєнної нестабільності фінансово-економічна стійкість підприємств визначається насамперед здатністю підтримувати ліквідність і керувати грошовими потоками, а не рівнем прибутковості. У 2022-2025 рр. більшість суб’єктів підприємництва функціонували в режимі адаптації, орієнтуючись на збереження платоспроможності та безперервності діяльності, що супроводжувалося

зниженням рентабельності за відносно стабільних показників фінансової стійкості. Розширення пільгового кредитування та зростання ролі державних фінансових інструментів частково компенсували обмежений доступ бізнесу до капіталу, однак водночас посилили залежність підприємств від боргового фінансування.

Коливання індексу очікуваної ділової активності поблизу нейтрального рівня та результати матриці ризиків підтверджують, що ключові загрози у 2025 р. зосереджені у сфері ліквідності, грошових потоків і боргового навантаження. За таких умов фінансова стійкість підприємств набуває характеру керованої адаптації, що зумовлює доцільність застосування ризик-орієнтованих управлінських підходів у процесі антикризового управління.

Висновки. Війна суттєво погіршила показники ліквідності, платоспроможності та рентабельності підприємств, водночас змінивши самі критерії оцінювання фінансової стійкості. У воєнних умовах допустимими стають тимчасові відхилення від класичних нормативів, якщо вони забезпечують збереження операційної спроможності та зайнятості. Фінансова стійкість підприємництва у воєнний період визначається не лише величиною фінансових показників, а здатністю підприємств швидко адаптувати бюджети, формувати резерви ліквідності, використовувати зовнішню підтримку та управляти ризиками. Необхідно переглянути підходи до оцінювання ефективності бізнесу та формування антикризових фінансових стратегій, орієнтованих на відновлення і подальший розвиток у післявоєнний період.

Список використаних джерел

1. Фінанси підприємств України під час війни та завдання їх повоєнного відновлення : наукова доповідь / за ред. д.е.н. В.В. Зимовця;

НАН України, *ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України».* Електрон. дані. К., 2023. 54 с. URL: http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2023/8/Finansy-pidpryiemstv-Ukrainy-pid-chas-vijny.pdf

2. Цимбала А. Стійкість малого і середнього бізнесу України у війні: виклики, політика і майбутнє.. *Вокс Україна.* 25.10.2025. URL: https://voxukraine.org/stijkist-malogo-i-serednogo-biznesu-ukrayiny-u-vijni-vyklyky-polityka-i-majbutnye#:~:text=Мікро,робочих%20місць%20в%20Україні

3. Крилова О.В., Штефан Н.М., Кравченко Н.О., Московець К.Є. Ефективність державної підтримки українського бізнесу в умовах економічної нестабільності. *Economics Bulletin of Dnipro University of Technology.* 2025, №3. С. 102-110. DOI: https://doi.org/10.33271/ebdut/91.10

4. Бізнес відновив позитивні оцінки ділової активності – підсумки опитування підприємств у вересні. *Офіційний сайт Національного банку України.* URL: https://bank.gov.ua/ua/news/all/biznes-vidnoviv-pozitivni-otsinki-dilovoyi-aktivnosti--pidsumki-opituvannya-pidpriyemstv-u-veresni

References

1. Zymovets, V. V. (Ed.). (2023). *Finansy pidpryiemstv Ukrainy pid chas viiny ta zavdannia yikh povoiennoho vidnovlennia: naukova dopovid* [Finances of Ukrainian enterprises during the war and tasks of their post-war recovery: scientific report]. Institute for Economics and Forecasting of the NAS of Ukraine. http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2023/8/Finansy-pidpryiemstv-Ukrainy-pid-chas-vijny.pdf

2. Tsymbala, A. (2025, October 25). *Stiikist maloho i serednoho biznesu Ukrainy u viini: vyklyky, polityka i maibutnie* [Resilience of small and medium-sized businesses of Ukraine in the war: challenges, policy and the future]. Vox

Ukraine. https://voxukraine.org/stijkist-malogo-i-serednogo-biznesu-ukrayiny-u-vijni-vyklyky-polityka-i-majbutnye

3. Krylova, O. V., Shtefan, N. M., Kravchenko, N. O., & Moskovets, K. Ye. (2025). Efektyvnist derzhavnoi pidtrymky ukrainskoho biznesu v umovakh ekonomichnoi nestabilnosti [Effectiveness of state support for Ukrainian business in conditions of economic instability]. *Economics Bulletin of Dnipro University of Technology*, (3), 102-110. https://doi.org/10.33271/ebdut/91.10

4. National Bank of Ukraine. (n.d.). *Biznes vidnoviv pozytyvni otsinky dilovoi aktyvnosti – pidsumky opytuvannia pidpriyemstv u veresni* [Business regained positive assessments of business activity – results of the enterprise survey in September]. Official website of the National Bank of Ukraine. https://bank.gov.ua/ua/news/all/biznes-vidnoviv-pozitivni-otsinki-dilovoyi-aktivnosti--pidsumki-opituvannya-pidpriyemstv-u-veresni

Калініченко Олександр Федосійович, кандидат юридичних наук, доцент, професор кафедри конституційного права навчально-наукового інституту права та психології, Національна академія внутрішніх справ, м.Київ, Україна, https://orcid.org/0009-0006-4480-3894

Kalinichenko Oleksandr, candidate of legal sciences, associate professor, professor of the department of constitutional law, educational and scientific institute of law and psychology, National academy of internal affairs, Kyiv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0006-4480-3894

ПРАВОВИЙ СТАТУС ДЕРЖАВНОЇ МОВИ У СУЧАСНІЙ УКРАЇНІ

LEGAL STATUS OF THE STATE LANGUAGE IN MODERN UKRAINE

Анотація

У статті здійснено комплексний аналіз правових засад функціонування української мови як єдиної державної мови в Україні, визначено її конституційно-правовий статус та особливості застосування у діяльності органів державної влади і місцевого самоврядування. Обґрунтовано, що державна мова виступає важливим елементом конституційного ладу, національної ідентичності та державного суверенітету, а також є необхідною умовою ефективного функціонування публічної влади та забезпечення прав і свобод громадян.

У дослідженні проаналізовано нормативно-правові акти, що регулюють використання української мови, зокрема Конституцію України, Закон України «Про забезпечення функціонування української мови як

державної», а також інші нормативні документи, що визначають обов'язковість її застосування у сфері діяльності органів законодавчої, виконавчої та судової влади, правоохоронних органів, органів місцевого самоврядування та інших державних інституцій. Визначено, що державна мова є обов'язковим засобом офіційного спілкування у процесі здійснення владних повноважень, підготовки офіційних документів, ведення діловодства, розгляду звернень громадян, прийняття управлінських рішень та здійснення судочинства.

Особливу увагу приділено сфері використання державної мови у публічному управлінні, інформаційному просторі та офіційній комунікації, зокрема у виданні друкованої продукції службового характеру, веденні офіційних вебсайтів органів державної влади та місцевого самоврядування, а також висвітленні їх діяльності засобами масової інформації. Наголошено на значенні державної мови як інструменту забезпечення відкритості, прозорості та ефективності діяльності органів влади.

У статті також визначено, що функціонування української мови як державної сприяє зміцненню правової держави, розвитку демократичних інститутів та утвердженню принципу верховенства права. Зроблено висновок про необхідність подальшого вдосконалення законодавства у сфері мовної політики та забезпечення належного контролю за дотриманням мовного законодавства як важливого чинника зміцнення державності України.

Ключові слава: державна мова, народність, публічна сфера, державний сектор, сертифікат, забезпечення, суспільне життя.

Abstract

The article provides a comprehensive analysis of the legal foundations for the functioning of the Ukrainian language as the sole state language in Ukraine

and determines its constitutional and legal status, as well as the specific features of its application in the activities of state authorities and local self-government bodies. It is substantiated that the state language constitutes an essential element of the constitutional order, national identity, and state sovereignty, and serves as a necessary condition for the effective functioning of public authorities and the protection of human and civil rights and freedoms.

The study analyzes the regulatory legal framework governing the use of the Ukrainian language, in particular the Constitution of Ukraine, the Law of Ukraine "On Ensuring the Functioning of the Ukrainian Language as the State Language," and other legal acts establishing the mandatory use of the state language in the activities of legislative, executive, and judicial authorities, law enforcement agencies, local self-government bodies, and other public institutions. It is determined that the state language is the mandatory means of official communication in the exercise of public authority, preparation of official documents, record management, consideration of citizens' appeals, decision-making processes, and administration of justice.

Special attention is paid to the use of the state language in public administration, the information sphere, and official communication, including the publication of official printed materials, maintenance of official websites of state authorities and local self-government bodies, and coverage of their activities in mass media. The importance of the state language as a tool for ensuring transparency, openness, and efficiency of public administration is emphasized.

The article also establishes that the functioning of the Ukrainian language as the state language contributes to strengthening the rule of law, developing democratic institutions, and reinforcing the constitutional order. It is concluded that further improvement of language legislation and effective monitoring of compliance with language policy remain essential factors in strengthening Ukraine's statehood.

Keywords: state language, nationality, public sphere, public sector, certificate, provision, social life.

Постановка проблеми. У сучасних умовах державотворення, євроінтеграційних процесів та збройної агресії проти України особливого значення набуває питання забезпечення належного правового статусу української мови як єдиної державної мови. Мова виступає не лише засобом комунікації, а й важливим елементом національної ідентичності, державного суверенітету та конституційного ладу. Водночас практична реалізація положень Конституції України та Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» потребує подальшого вдосконалення правових механізмів, спрямованих на забезпечення її повноцінного функціонування у всіх сферах публічного життя.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення ефективного застосування державної мови у діяльності органів державної влади, місцевого самоврядування, правоохоронних органів, судової системи, сфери освіти, медіа, обслуговування та інших сферах суспільних відносин. Особливого значення набуває питання правового регулювання мовної політики, встановлення відповідальності за порушення мовного законодавства, а також забезпечення державного контролю за його дотриманням. У зв’язку з цим виникає необхідність комплексного наукового аналізу правового статусу державної мови в Україні, її функцій та ролі у забезпеченні конституційного правопорядку.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблематика правового статусу державної мови, її ролі у функціонуванні держави та забезпеченні прав і свобод людини є предметом дослідження багатьох науковців у галузі конституційного права, мовознавства та державного управління. Теоретичні аспекти природи мови та її значення у розвитку суспільства розглядалися ще

у працях античних філософів, зокрема Платона та Горгія, які досліджували взаємозв'язок мови, мислення та суспільних відносин.

Вагомий внесок у дослідження правового статусу української мови зроблено українськими науковцями, які розглядали державну мову як важливий елемент конституційного ладу, засіб забезпечення державної єдності та функціонування публічної влади. Значну увагу приділено аналізу положень Конституції України, Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної», а також інших нормативно-правових актів, що визначають правові засади функціонування державної мови.

Окремі аспекти мовної політики досліджувалися у контексті міжнародного досвіду, зокрема на прикладі законодавства європейських держав, таких як Латвійська Республіка, де державна мова відіграє важливу роль у забезпеченні діяльності органів державної влади та місцевого самоврядування. Водночас, незважаючи на значну кількість наукових досліджень, питання правового статусу державної мови в Україні потребує подальшого комплексного дослідження з урахуванням сучасних умов розвитку держави та суспільства.

Метою статті є комплексний аналіз правового статусу української мови як державної в Україні, визначення її ролі у функціонуванні органів державної влади та місцевого самоврядування, а також дослідження нормативно-правових засад її застосування у різних сферах суспільного життя.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: дослідити конституційно-правові основи функціонування української мови як державної; проаналізувати положення чинного законодавства, що регулює застосування державної мови; визначити значення державної мови у забезпеченні ефективної діяльності органів

публічної влади; дослідити механізми державного контролю за дотриманням мовного законодавства та відповідальність за його порушення; а також визначити роль державної мови у зміцненні державності, національної безпеки та розвитку демократичного суспільства.

Виклад результатів. Якщо говорити про мову як загальне поняття, то можна використовувати означення, які підкреслюють різні аспекти явища. Ці означення також тягнуть за собою різні підходи до розуміння мови, вони також формують і наповнюють різні та часто несумісні школи мовознавства. Дебати про природу та походження мови сягають стародавнього світу. Грецькі філософи, зокрема Горгій і Платон, обговорювали співвідношення слів, понять і дійсності. Горгій стверджував, що мова не може представляти ані об'єктивного досвіду, ані людського досвіду, а тому спілкування та правда неможливі. Платон стверджував, що спілкування можливе, оскільки мова подає ідеї та концепції, які існують незалежно від мови та існували до неї [1,с.5].

Мова – це найкращий засіб взаємних зносин окремих людей між собою, засіб їх духовного об’єднання і взаємного впливу. Без мови нема народності.

Рідна мова найкраще відбиває в собі думки й почуття окремої людини, суспільності всього народу. В мові, її історії, розвитку й виробленні відбилися перші ознаки проявів самостійного духовного життя в майбутньому окремого народу.

У сучасних державах існує поняття офіційної (державної) мови та мов національних меншин, правовий статус яких може визначатися конституцією та законами держави. Правовий статус мови – це її роль порівняно з іншими мовами певної держави чи на міжнародній арені.

Державна мова – мова, вживання якої обов'язкове в офіційних документах та загалом у публічних сферах суспільного життя в державі (законодавство, управління, судочинство, освіта тощо).

Державною мовою визначається або фактично визнається, як правило, мова титульної нації. В державах, утворених на багатонаціональній основі, статус державної можуть мати кілька мов. При цьому державна мова, як спільна на всій території держави, сприяє згуртуванню населення перетворює його на колектив, суспільство, народ. Єдина для всього суспільства державна мова дає змогу сконцентрувати його інтелектуальний потенціал і, як підсумок, у процесі історичного розвитку,врешті-решт переростає в могутню рушійну силу суспільного прогресу. Функція державної мови полягає також у тому, щоб реально забезпечити рівні права всім членам суспільства, у тому числі й особам, що належать до національних меншин.

Наприклад, відповідно до ст. 3 Закону Латвійської Республіки «Про державну мову» 1999 р. «державною мовою Латвійської Республіки є латиська мова. У Латвійській Республіці кожен має право здійснювати запити і спілкуватися державною мовою в установах, громадських і релігійних організаціях та підприємствах (компаніях)». Крім того, відповідно до ст. 6 «працівники державних установ та установ місцевого самоврядування, судів та установ судової системи, державних і муніципальних підприємств, а також співробітники компаній, у яких найбільша частка капіталу належить державі або органам місцевого самоврядування, повинні вільно володіти і використовувати державну мову в обсязі, необхідному для виконання своїх професійних і посадових обов'язків» [2].

21 лютого у світі відзначається Міжнародний день рідної мови. Мова – не лише засіб нашого спілкування, а й визначальний чинник ідентифікації

українців як нації. Останнім часом зростає престиж української мови, отже посилюється національна свідомість українського народу, адже у народу немає більшого скарбу, ніж його мова. Вона охоплює усі сфери суспільного життя: це характер народу, його пам'ять, історія і духовна могутність. Турбота про рідну мову, любов і повага до неї має бути в центрі уваги кожної нації.

В Україні під державною (офіційною) мовою розуміється мова, якій державою надано правовий статус обов'язкового спілкування у публічнихсферах суспільного життя. Публічними сферами, у яких застосовується державна мова, охоплюються сфери здійснення повноважень органами законодавчої, виконавчої та судової влади, іншими державними органами та органами місцевого самоврядування (мова роботи, актів, діловодства і документації, мова взаємовідносин цих органів тощо). Крім того, державна мова має вживатися при розгляді звернень громадян, у виданнях друкованої продукції, призначеної для службового та ужиткового користування, для висвітлення органів державної влади та органів місцевого самоврядування засобами масової інформації тощо.

Стаття 10 Конституції України та стаття 1 Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» визначають, що державною мовою в Україні є українська мова. Закон регулює функціонування і застосування української мови як державної у сферах суспільного життя на всій території України [3]. Згідно із законом українська мова домінує у таких сферах: у державному секторі та органах місцевого самоврядування; в громадських та інших організаціях; в науці та освіті; у медицині; на телебаченні та кіно; у сфері послуг; в медіа та інтернет-сайтах; у війську та силових структурах; у документообігу тощо. Статус української мови як єдиної державної мови передбачає обов'язковість її використання на всій території України при здійсненні повноважень органами державної

влади та органами місцевого самоврядування, а також в інших публічних сферах суспільного життя, які визначені Законом. Українська мова як єдина державна мова виконує функції мови міжетнічного спілкування, є гарантією захисту прав людини для кожного українського громадянина незалежно від його етнічного походження, а також є фактором єдності і національної безпеки України. Згідно з вимогами статті 30 Закону мовою обслуговування споживачів в Україні є державна мова. Підприємства, установи та організації всіх форм власності, фізичні особи–підприємці, інші суб'єкти господарювання, що обслуговують споживачів, здійснюють обслуговування та надають інформацію про товари (послуги), у тому числі через інтернет-магазини та інтернет-каталоги, державною мовою. Інформація державною мовою може дублюватися іншими мовами. На прохання клієнта його персональне обслуговування може здійснюватися також іншою мовою, прийнятною для сторін. Законом передбачено, що кожен громадянин України зобов'язаний володіти державною мовою. Для цього держава забезпечує кожному громадянинові України можливості для опанування державної мови через систему закладів дошкільної, повної загальної середньої, позашкільної, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої, вищої освіти, освіти дорослих, а також через підтримку неформальної та інформальної освіти, спрямованої на вивчення державної мови. У свою чергу особа, яка має намір набути громадянство України, зобов'язана засвідчити відповідний рівень володіння державною мовою.

У свою чергу особи, які претендують на посаду в органах державної влади або місцевого самоврядування, повинні складати іспит на рівень володіння українською мовою відповідно до стандартів, розроблених Національною комісією зі стандартів державної мови. Рівень володіння державною мовою засвідчується відповідним державним сертифікатом. Якщо особа сама хоче отримати такий сертифікат та скласти іспит, то може

це зробити безоплатно раз на 4 місяці. Така можливість є в усіх громадян України. Дія сертифікату на рівень володіння мовою буде безстрокова, але якщо претендент з першого разу не складе іспиту, у нього буде час підготуватися і перескласти.

Депутати місцевих рад, місцевого самоврядування, офіцери-контрактники, рядові, сержанти, старшини правоохоронних органів, адвокати, нотаріуси, педагоги, науковці та медпрацівники можуть засвідчити рівень володіння державною мовою освітнім документом, за умови, що українська мова була прослухана в обсязі більше, ніж 500 годин.

Важливим моментом передбаченим Законом України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» є те, що друковані засоби масової інформації можуть видаватися іншими, ніж державна, мовами за умови, що одночасно з відповідним тиражем видання іноземною мовою видається тираж цього видання державною мовою. Усі мовні версії повинні видаватися під однаковою назвою, відповідати одна одній за змістом, обсягом та способом друку, а їх випуски повинні мати однакову нумерацію порядкових номерів і видаватися в один день. Розповсюджувати за передоплатою ЗМІ іноземною мовою можна у випадку, коли у читачів є можливість підписатися на такий саме україномовний тираж. А в кожному місці, де розповсюджують дурковану пресу в Україні, частка ЗМІ державною мовою має становити не менше 50%. Проте, норми закону не поширюються на друковані видання, які видаються виняткова кримськотатарською мовою, іншими мовами корінних народів України, англійською чи іншою офіційною мовою ЄС. Під ці винятки не підпадає російська мова.

Що стосується медіа ринку, то телерадіоорганізації здійснюють мовлення державною мовою. Обов'язковий (мінімальний) обсяг мовлення державною мовою для телерадіоорганізацій окремих категорій

встановлюється Законом України "Про телебачення і радіомовлення". У статті 9 вищезазначеного Закону визначено, що загальному обсязі мовлення кожної телерадіоорганізації не менше 50 відсотків має становити національний аудіовізуальний продукт. Телерадіоорганізації при здійсненні радіомовлення повинні забезпечувати частку пісень (словесно-музичних творів) державною мовою в обсязі не менше 35 відсотків загального обсягу пісень, поширених протягом доби, а також не менше 35 відсотків загального обсягу пісень, поширених у кожному проміжку часу між 07.00 та 14.00 і між 15.00 та 22.00[4].

З метою сприяння функціонуванню української мови як державної у сферах суспільного життя на всій території України діє Уповноважений із захисту державної мови, основними завданнями якого є захист української мови як державної та захист права громадян України на отримання державною мовою інформації та послуг у сферах суспільного життя на всій території України і усунення перешкод та обмежень у користуванні державною мовою. Уповноважений із захисту державної мови здійснює державний контроль за застосуванням державної мови у випадку надходження скарги, а також за власною ініціативою.

У разі порушення суб'єктом господарювання, що провадить господарську діяльність на території України, вимог щодо функціонування української мови, Уповноважений, його представник складає акт про результати здійснення контролю за застосуванням державної мови, оголошує такому суб'єкту попередження та вимогу усунути порушення протягом 30 днів від дати складення акта, про що зазначається в акті. У разі повторного протягом року порушення вимог Закону, Уповноважений, його представник складає протокол.

Що стосується відповідальності за порушенням вимог Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної», то

статтею 188–52 «Кодексу України про адміністративні правопорушення України» передбачено, що порушення вимог Закону України "Про забезпечення функціонування української мови як державної" щодо застосування державної мови під час засідань, заходів, зустрічей і робочого спілкування, в актах, діловодстві та документообігу в органах державної влади, органах влади Автономної Республіки Крим і органах місцевого самоврядування, на державних і комунальних підприємствах, в установах та організаціях, інших суб'єктах господарювання державної і комунальної форми власності, у судочинстві та діловодстві у судах України, в органах правопорядку, розвідувальних органах, державних органах спеціального призначення з правоохоронними функціями, на державному кордоні України, у процесі виборів та референдумів, у міжнародних договорах України тягнуть за собою накладення штрафу від 3 400 грн. до 6 800 грн. або попередження, якщо порушення вчинене вперше [5].

Порушення вимог Закону України "Про забезпечення функціонування української мови як державної" щодо застосування державної мови у сфері освіти, науки, культури, книговидання, у користувацьких інтерфейсах комп'ютерних програм та веб-сайтів, у сфері інформації для загального ознайомлення, публічних заходів, технічної і проектної документації, реклами, охорони здоров'я, спорту, телекомунікацій та поштового зв'язку, транспорту тягнуть за собою накладення штрафу від 3 400 грн. до 5 100 грн. або попередження, якщо порушення вчинене вперше.

Порушення вимог Закону України "Про забезпечення функціонування української мови як державної" щодо застосування державної мови друкованими засобами масової інформації тягнуть за собою накладення штрафу від 6 800 грн до 8 500 грн. або попередження, якщо порушення вчинене вперше. Повторне протягом року вчинення вищезазначених порушень з числа зазначених у частинах першій – четвертій цієї статті, за

яке особу вже було піддано адміністративному стягненню тягне за собою накладення штрафу від 8 500 грн. – 11 900 грн. Повторне невиконання законних вимог Уповноваженого із захисту державної мови під час здійснення ним державного контролю за застосуванням державної мови тягне за собою накладення штрафу на посадових осіб від 1 700 грн. та 3 400 грн.

Інші, порушення Закону України "Про забезпечення функціонування української мови як державної" щодо порядку застосування державної мови тягнуть за собою накладення штрафу від 3 400 грн. 5 100 грн., якщо порушення вчинене вперше.

Відповідно до Закону українська мова, поряд із Прапором, Гербом і Гім-ном, є одним із символів Української держави. Володіння державною мовою та їївикористання посадовими і службовими особами органів державної влади та органів місцевого самоврядування є однією з обов'язкових умов для зайняття відповідних посад. Громадяни України повинні володіти українською мовою як мовою свого громадянства та використовувати її у сферах публічного спілкування. Знання української мови є неодмінною умовою набуття громадянства України. При цьому кожен громадянин України є вільним у виборі мови або мов у приватному спілкуванні.

Відповідно до Закону, українською мовою мають проводитись усі засідання, зустрічі тощо у владних органах та установах – як центральних, так і регіональних.

Передбачене й створення посади Уповноваженого з захисту української мови, який регулюватиме впровадження цього Закону. Норми української мови встановлюються у словниках української мови та українському правописі, який затверджуються Міністерством освіти і науки за рекомендаціями фахівців з української мови наукових установ

Національної академії наук України, інших наукових установ, вищих навчальних закладів. За генеалогічною класифікацією українська мова належить до східнослов'янської підгрупи слов'янської групи індоєвропейської мовної сім'ї.

Висновок. Таким чином, особливу роль української мови як державної підкреслюється Конституцією України, якою передбачені вимоги щодо обов'язкового володіння державною мовою Президентом України (ст. 103), професійними суддями (ст. 127), суддями Конституційного Суду України (ст. 148).

Крім того, обов'язковою умовою для прийняття до громадянства України є «володіння державною мовою або її розуміння в обсязі, достатньому для спілкування» (ст. 9 Закону України «Про громадянство України»).

Список використаних джерел

1.Мова // Словник української мови XVI — першої половини XVII ст. / відп. ред. М. Чікало; Інститут українознавства імені І. Крип'якевича НАН України. — Львів, 2022. Вип. 18 (мова — мꙗтка). — С. 3–5. — ISBN 966-02-2705-1 (серія); ISBN 978-966-02-9515-5 (вип. 18)

2.Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» Верховна Рада *України*; *Закон* від 25.04.2019 № 2704-VIII. Стан: Чинний. Ідентифікатор: 2704-19.

3. Закон Латвійської Республіки «Про державну мову», був прийнятий Саеймом 9 грудня 1999 року. Рига, 21 грудня 1999. https://language-policy.info/movne-zakonodavstvo/zakonodavstvo-pro-movy-latvijskoji-respubliky/zakon-latvijskoji-respubliky-pro-derzhavnu-movu/.

4.Законом України “Про телебачення і радіомовлення” Верховна Рада *України*; *Закон* від 21.12.1993 № 3759-XII (Редакція станом на 31.03.2023)

5.Кодекс «України про адміністративні правопорушення України» від 07.12.1984. Кодекс України: № 8073-X. Редакція: 11.12.2025.

References

1. Chikalo, M. (Ed.). (2022). *Mova [Language]*. Dictionary of the Ukrainian language of the XVI — first half of the XVII century. Issue 18. Lviv: Ivan Krypiakevych Institute of Ukrainian Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine, pp. 3–5. ISBN 978-966-02-9515-5.

2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2019). *Law of Ukraine “On Ensuring the Functioning of the Ukrainian Language as the State Language”* No. 2704-VIII of April 25, 2019. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2704-19

3. Saeima of the Republic of Latvia. (1999). *Official Language Law*. Adopted December 9, 1999. Riga. Available at: https://language-policy.info/movne-zakonodavstvo/zakonodavstvo-pro-movy-latvijskoji-respubliky/zakon-latvijskoji-respubliky-pro-derzhavnu-movu/

4. Verkhovna Rada of Ukraine. (1993). *Law of Ukraine “On Television and Radio Broadcasting”* No. 3759-XII of December 21, 1993 (as amended March 31, 2023). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3759-12

5. Verkhovna Rada of Ukraine. (1984). *Code of Ukraine on Administrative Offenses* No. 8073-X of December 7, 1984 (as amended December 11, 2025). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10

Zabrodskyi Ihor Serhiiovych, 3rd year student of medical faculty of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, https://orcid.org/0009-0005-3576-6828

Pankiv Tetiana Vasylivna, PhD, Assistant Professor of Department of Pathological Anatomy, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-2525-562X

Khmara Tatiana Volodymyrivna, Doctor of Medicine Sciences, Professor, Professor of the Department of Human Anatomy named after MG Turkevich of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, https://orcid.org/0000-0003-4699-6600

ANGIOGENESIS AS A MORPHOLOGICAL MARKER OF TUMOR GROWTH: AN ANALYSIS OF CURRENT LITERATURE DATA

Abstract

Introduction. The issue of tumor growth remains one of the most pressing challenges in contemporary biomedical science due to the high prevalence of oncological diseases and the complexity of their pathogenesis. Angiogenesis ensures tumor vascularization, oxygen and nutrient supply, and contributes to invasion and metastasis, while its morphological manifestations are used to assess tumor progression and prognosis.

The aim of study was to analyze and summarize current literature data on angiogenesis as a morphological marker of tumor growth.

Results. Analysis of recent publications shows that tumor angiogenesis occurs through classical formation of new blood vessels (sprouting) as well as alternative mechanisms such as vessel co-option and vasculogenesis. VEGF plays a central role, with its activity correlating with increased microvascular density and poor prognosis. Perivascular spaces, cells of the tumor microenvironment, and

tumor-associated macrophages play important regulatory roles, stimulating the formation of pathological vascular networks and increasing tumor invasiveness. Metabolic and epigenetic mechanisms (e.g., m6A RNA modifications) additionally influence the intensity of angiogenesis, as well as the structure and architecture of the tumor vascular network, allowing assessment of its growth dynamics, degree of aggressiveness, and morphological changes.

Conclusions. Angiogenesis is a universal and multifaceted morphological marker of tumor growth, reflecting the integration of molecular, cellular, and tissue-level processes. Further research should focus on understanding these mechanisms in greater detail to improve tumor characterization and prognostic assessment.

Keywords: angiogenesis, tumor growth, vascular endothelial growth factor (VEGF), tumor, pathomorphology.

Problem Statement. Tumor growth remains one of the most pressing issues in modern biomedical science due to the high prevalence of oncological diseases, the complexity of their pathogenesis, and significant mortality rates. According to the World Health Organization, nearly ten million people died from cancer in 2020, meaning that approximately one in six deaths worldwide is attributable to this disease [1]. Similarly, Ukraine demonstrates high mortality rates, with about 85,000 deaths from cancer reported annually [2].

Over recent decades, tumor growth has increasingly attracted scientific attention, as its development is a multifactorial process involving disturbances in cellular proliferation, differentiation, apoptosis, and intercellular interactions.

One of the key mechanisms underlying the progression of malignant neoplasms is angiogenesis—the process of new blood vessel formation from the pre-existing vasculature. Activation of angiogenesis creates conditions that supply tumor tissue with oxygen and nutrients, promotes invasive growth, and facilitates

metastasis. In this regard, angiogenesis is considered not only a prerequisite for tumor growth but also an important morphological marker of malignant tissue transformation that warrants thorough investigation.

In light of the above, the analysis of current literature data on angiogenesis as a morphological marker of tumor growth is justified from the perspective of the need to systematize existing scientific evidence.

Analysis of Recent Research and Publications. In recent years, angiogenesis has remained one of the most relevant research areas in oncology due to its pivotal role in tumor vascularization, growth, and metastasis. Contemporary reviews and studies emphasize the complex nature of angiogenesis, which involves multiple mechanisms of new vessel formation, including sprouting angiogenesis, vessel co-option, vasculogenesis, and other pathways independent of vascular endothelial growth factor (VEGF – vascular endothelial growth factor). These alternative mechanisms may contribute to the development of resistance to anti-angiogenic therapies. Such a broad classification of angiogenic mechanisms expands the understanding of their impact on tumor development and prognosis [3–5].

Individual studies focused on specific tumor localizations, particularly breast cancer, confirm the high prognostic value of microvessel density and the expression of angiogenic factors in assessing tumor aggressiveness and disease outcomes. It has been established that poor prognosis in breast cancer correlates with increased microvessel density and enhanced activity of pro-angiogenic factors, which supply tumor tissue with oxygen and nutrients. Inhibition of angiogenesis leads to reduced tumor vascularization and restriction of its metabolic support; therefore, tumor angiogenesis is considered an important therapeutic target [6].

Overall, current reviews confirm that angiogenesis is not only a key mechanism of tumor growth but also a significant indicator for prognosis, assessment of therapeutic response, and the development of novel multitarget

treatment strategies in oncology. Accordingly, systematization of contemporary literature data on angiogenesis and its stimulating factors is warranted [7].

The aim of study was to analyze and summarize current literature data on angiogenesis as a morphological marker of tumor growth.

Materials and Methods. A total of 87 recent scientific publications published between 2020 and 2025 were reviewed. The sources were retrieved from the PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases. Based on their relevance to the study objective, methodological rigor, and scientific significance, 20 publications were selected for inclusion in the final version of the article.

Presentation of the Main Material. The conducted analysis of contemporary literature sources indicates that angiogenesis is one of the key biological processes determining the growth, progression, and metastatic potential of malignant tumors. The formation of new blood vessels supplies tumor tissue with oxygen and nutrients, thereby creating the morphological basis for the transition from non-invasive (initial) growth to invasive progression [8]. From this perspective, angiogenesis is considered not only a functional mechanism but also an important morphological marker of tumor growth with diagnostic and prognostic significance.

Contemporary studies confirm that the activation of angiogenesis in tumors is driven by a complex interplay between hypoxia, cellular metabolic reprogramming, and signals derived from the tumor microenvironment. A central role in this process is played by vascular endothelial growth factor (VEGF), the expression of which is significantly upregulated under hypoxic conditions and correlates with increased microvessel density and poor prognosis. According to a study published in *Oncology Letters* (Zhou J., 2024), VEGF-dependent signaling cascades contribute to the formation of a morphologically immature and

chaotically organized vascular network characteristic of tumor tissue, thereby promoting invasion and metastasis [9].

An important addition to the classical concepts of angiogenesis is the growing evidence regarding the role of epigenetic mechanisms, particularly N6-methyladenosine (m6A) RNA modification. A study by Qin L. (2024), published in *Frontiers in Oncology*, demonstrates that m6A regulators influence the stability and translation of mRNAs encoding key pro-angiogenic factors, including VEGF, FGF, and angiopoietins. Disruption of m6A balance leads to enhanced angiogenesis and the development of an aggressive tumor phenotype [10].

The metabolic aspects of angiogenesis have also attracted considerable attention. In a publication by Arce-Recatala C. (2025) in *Metabolites*, it is emphasized that tumor cells and endothelial cells exist in close metabolic symbiosis. Reprogramming of glycolysis, lipid metabolism, and amino acid metabolism promotes activation of angiogenic signaling pathways and is reflected in characteristic morphological alterations of the tumor vasculature. Thus, the metabolic profile of a tumor is directly associated with the degree of angiogenesis and may be considered as its functional and morphological correlate [11].

The immune microenvironment also plays a distinct role in the regulation of tumor angiogenesis. According to Qiao X. (2025) in *Frontiers in Immunology*, tumor-associated macrophages (TAMs) represent one of the key sources of pro-angiogenic factors. They stimulate endothelial cell proliferation, extracellular matrix (ECM) remodeling, and the formation of a pathological vascular network. Morphologically, this is manifested by increased microvessel density and structural atypia, which are associated with an immunosuppressive microenvironment and tumor progression [12].

Perivascular spaces, particularly the Virchow–Robin spaces, play a significant role in tumor angiogenesis and microenvironmental cell interactions. In the context of tumors of the nervous system, these structures constitute an

important microanatomical component of the vascular microenvironment, facilitating the diffusion of oxygen, nutrients, and signaling molecules, as well as the migration of immune and tumor cells [13]. In malignant brain tumors, such as high-grade gliomas, these spaces are regarded not merely as anatomical formations but also as functional pathways of interaction between tumor cells, the vascular wall, and microenvironmental cells [14]. Available data indicate that tumor cells are capable of exploiting perivascular spaces for migration along the vascular network, a phenomenon closely associated with pathological angiogenesis and invasive growth [15].

Activation of angiogenesis in brain tumors is accompanied by the formation of a morphologically immature and structurally atypical vascular network, around which remodeling and dilation of perivascular spaces are observed. This creates conditions for the accumulation of pro-angiogenic factors, immune microenvironment cells, and tumor cells, thereby enhancing the invasive potential of the neoplasm [16]. Accordingly, Virchow–Robin spaces may be considered as a morphological indicator of active vascular remodeling and angiogenesis in brain tumor tissue.

Contemporary concepts of tumor angiogenesis extend beyond the classical formation of new blood vessels and include alternative mechanisms of vascular network development. One such mechanism is vessel co-option, whereby cancer cells do not generate new vessels but instead use pre-existing capillaries of healthy tissue, adapting them to tumor needs. Another important process is vasculogenesis, in which new vessels arise not through sprouting of existed ones but via differentiation of endothelial or stem cells into vascular endothelium. These alternative pathways ensure tumor blood supply even when classical angiogenesis is suppressed or insufficient and contribute to increased invasiveness and resistance to anti-angiogenic therapies [4, 17].

The integration of morphological and mathematical approaches enables a deeper understanding of tumor angiogenesis patterns. In a study by Mohseni A. (2024), published in *Frontiers in Biomedical Technologies*, the potential of mathematical modeling of angiogenesis was demonstrated for quantitative assessment of vascular architectonics and prediction of tumor growth. Such models highlight the close relationship between vascular morphology and the functional behavior of tumors [18].

Several review papers also emphasize the importance of an interdisciplinary approach to angiogenesis research, combining molecular, morphological, and clinical data. In particular, analyses of current concepts of angiogenesis as a biomarker and therapeutic target confirm its pivotal role in patient stratification and prognosis assessment [19, 20].

Conclusions and Prospects for Further Research. Thus, angiogenesis represents a universal yet multifaceted morphological marker of tumor growth. Its manifestations reflect the integration of hypoxic, metabolic, epigenetic, and immune mechanisms that shape the structural and functional basis of malignant tumor progression.

Future research should focus on the development of individualized therapeutic approaches that take into account the molecular profile of the tumor and the status of angiogenesis. An important direction is also the combination of conventional anticancer treatment modalities with targeted anti-angiogenic inhibitors, which may enhance therapeutic efficacy and reduce the risk of complications.

References

1. World Health Organization. (2025). *Cancer*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer

2. Ferlay J, Ervik M, Lam F, Laversanne M, Colombet M, Mery L, Piñeros M, Znaor A, Soerjomataram I, Bray F (2024). Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. Available from: https://gco.iarc.who.int/today

3. Zhang, R., Yao, Y., Gao, H., & Hu, X. (2024). Mechanisms of angiogenesis in tumour. *Frontiers in Oncology*, *14*, 1359069. Available from: https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1359069

4. Ribatti, D., Annese, T., & Tamma, R. (2023). Vascular co-option in resistance to anti-angiogenic therapy. *Frontiers in oncology*, *13*, 1323350. Available from: https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1323350

5. Belotti, D., Pinessi, D., & Taraboletti, G. (2021). Alternative Vascularization Mechanisms in Tumor Resistance to Therapy. *Cancers*, *13*(8), 1912. Available from: https://doi.org/10.3390/cancers13081912

6. Gamde, S. M., & Ogenyi, O. D. (2024). Angiogenesis in breast cancer: A review. Asian Pac J Cancer Biol, 9 (1), 97-103. Available from: https://doi.org/10.31557/apjcb.2024.9.1.97-103

7. Liu, Z. L., Chen, H. H., Zheng, L. L., Sun, L. P., & Shi, L. (2023). Angiogenic signaling pathways and anti-angiogenic therapy for cancer. *Signal transduction and targeted therapy*, *8*(1), 198. Available from: https://doi.org/10.1038/s41392-023-01460-1

8. Liu, X., Zhang, J., Yi, T., Li, H., Tang, X., Liu, D., ... & Li, Y. (2025). Decoding tumor angiogenesis: pathways, mechanisms, and future directions in anti-cancer strategies. *Biomarker Research*, *13*(1), 62. Available from: https://doi.org/10.1186/s40364-025-00779-x

9. Zhou, J., Zhou, P., Wang, J., & Song, J. (2024). Roles of endothelial cell specific molecule1 in tumor angiogenesis. *Oncology Letters*, *27*(3), 137. Available from: https://doi.org/10.3892/ol.2024.14270

10. Qin, L., Zeng, X., Qiu, X., Chen, X., & Liu, S. (2024). The role of N6-methyladenosine modification in tumor angiogenesis. *Frontiers in Oncology*, *14*, 1467850. Available from: https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1467850

11. Arce-Recatala, C., & Oberkersch, R. E. (2025). Endothelial Arginine Metabolism in Angiogenesis: Mechanistic Insights from Tissue Repair to Tumor Progression. *Metabolites*, *15*(11), 694. Available from: https://doi.org/10.3390/metabo15110694

12. Qiao, X., Song, Z., Geng, L., Xing, L., & Wang, Y. (2025). Investigating the role of tumor cell heterogeneity and angiogenesis genes in the prognosis of multiple myeloma. *Frontiers in Immunology*, *16*, 1610833. Available from: https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1610833

13. Zabrodskyi I. S., Protsak T. V. Rol peryvaskuliarnykh prostoriv (prostory Virkhova—Robina) u rehuliatsii anhiogenezu v mozku. Mizhdystsyplinarni naukovi doslidzhennia ta perspektyvy yikh rozvytku: materialy VIII Mizhnarodnoi studentskoi naukovoi konferentsii, m. Ivano-Frankivsk, 30 sichnia, 2026 rik / HO «Molodizhna naukova liha». — Vinnytsia: TOV «UKRLOGOS Hrup», 2026. S. 242–244.

14. Demir, E., Montgomery, D., Saloum, A., Yaghi, N., & Karsy, M. (2025). Current Understanding Regarding the Glioma Microenvironment and Impact of the Immune System. *Neuroglia*, *6*(1), 13. https://doi.org/10.3390/neuroglia6010013

15. Ravin, R., Suarez-Meade, P., Busse, B., Blank, P. S., Vivas-Buitrago, T., Norton, E. S., ... & Quiñones-Hinojosa, A. (2023). Perivascular invasion of primary human glioblastoma cells in organotypic human brain slices: human cells migrating in human brain. *Journal of neuro-oncology*, *164*(1), 43-54. https://doi.org/10.1007/s11060-023-04349-9

16. Mosteiro, A., Pedrosa, L., Ferrés, A., Diao, D., Sierra, À., & González, J. J. (2022). The Vascular Microenvironment in Glioblastoma: A Comprehensive Review. *Biomedicines*, *10*(6), 1285. https://doi.org/10.3390/biomedicines10061285

17. Zhang, R., Yao, Y., Gao, H., & Hu, X. (2024). Mechanisms of angiogenesis in tumour. *Frontiers in Oncology*, *14*, 1359069. https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1359069

18. Mohseni, A., Pooyan, M., Raiesdana, S., & Menhaj, M. B. (2024). The Effect of Tumor Angiogenesis Agents on Tumor Growth Dynamics: A Mathematical Model. *Frontiers in Biomedical Technologies*. Available from: https://doi.org/10.18502/fbt.v12i1.17743

19. Venketesh K. Panda and Sumant K. Mohanty (2025) Deciphering the Role of Tumor-Associated Macrophages (Tams) in Tumor Angiogenesis. J of Clin Onco & Adv Thpy 1(2), 01-08. Available from: https://doi.org/10.63721/25JCOAT0104

20. Pang, L., Liu, S., Liu, C., Hu, S., Zhang, Z., & Tian, T. (2025). Dynamic modeling and analysis of tumor angiogenesis and anti-angiogenesis treatment. *Journal of Biological Systems*, *33*(02), 647-667. Available from: https://doi.org/10.1142/S0218339025500172

Kavun Valentyna, Master's Degree in Finance, Chief Financial Officer, Agricultural Private Enterprise "Mrychko", Ternopil National Economic University, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3248-5968

QUANTIFYING FINANCIAL EXPOSURE WITHIN AGRICULTURAL ENTERPRISES: METHODOLOGICAL PARADIGMS AND RISK MANAGEMENT STRATEGIES

Abstract

The article is devoted to the critical problem of financial exposure quantification in modern capital-intensive agribusiness. The author presents the "Kavun Strategy" – a hybrid methodological paradigm that transcends traditional linear models, synthesizing Extreme Value Theory (EVT), copula-based dependency modeling and stochastic Monte Carlo simulation (10 000 iterations). Through the case study of an integrated U.S. holding (Iowa), it is proven that the standard Value-at-Risk (VaR) metric substantially underestimates "black swan" risks due to the leptokurtic nature of agricultural markets. The results demonstrate that structural hedging – the integration of federal revenue protection insurance with exchange-traded derivatives, reduces tail risk (Expected Shortfall) by 68.2%. The study also reveals the role of "Agriculture 4.0" technologies, including digital twins and Explainable AI (XAI), in forming the systemic financial immunity of the enterprise.

Keywords

Kavun Strategy, Monte-Carlo simulation, Expected Shortfall (ES), structural hedging, copula functions, Extreme Value Theory (EVT), agriculture 4.0.

Introduction

The contemporary landscape of agricultural economics is characterized by the profound integration of production cycles into global financial markets [1]. In this architecture, the enterprise`s financial exposure serves as a fundamental indicator of capital management efficiency. The transformation of agribusiness into a capital-intensive sector has resulted in the sensitivity of cash flows to exogenous shocks, ranging from energy price fluctuations to derivative speculation on commodity exchanges defining the creditworthiness and investment attractiveness of holdings in the long term [2].

The phenomenon of financial exposure within the agro-industrial complex (AIC) possesses unique specificity, dictated by the biological lag between investment in working capital and the realization of finished products. This temporal disproportion creates a zone of heightened vulnerability, where the cumulative effect of price elasticity of demand and supply for soft wheat, corn and oilseeds can result in the erosion of equity capital even amidst high production metrics [3]. Consequently, the risk management system is reorienting from reactive accounting of production losses toward preemptive quantitative assessment of market exposure [4].

The deepening of financial interconnections within agri-food value chains necessitates the implementation of advanced methodological technologies capable of accounting for the non-linear nature of risks [5]. Traditional linear approximation models frequently prove untenable in the face of “fat tails” in the probability distributions of losses typical for agricultural markets. In this regard, the integration of stochastic modeling and the analysis of correlation matrices between resource costs and final product prices becomes an imperative for ensuring financial stability. Without a mathematically verified assessment of potential losses within specified confidence intervals, modern agricultural holdings are deprived of the opportunity to effectively utilize structural hedging

instruments, rendering their balance sheets highly sensitive to systemic macroeconomic fluctuations [6].

Historically, financial exposure was assessed through the prism of static balance sheet indicators; however, the progressive financialization of the sector dictates the necessity of a transition toward dynamic cash flow modeling. This paradigm shift is intended to resolve the problem of persistent information asymmetry within agri-food value chains, where opaque data structures frequently conceal latent systemic vulnerabilities. The integration of forward stochastic structures enables enterprises to transcend natural hedging strategies, which are increasingly ineffective under conditions of global market convergence and transition toward a robust synthesis of idiosyncratic and market-correlated risk variables.

In the contemporary agribusiness landscape, physical climate risks are inextricably linked to financial performance, forming a complex climate-financial nexus that traditional models frequently ignore. The quantification of financial exposure today must account for the mechanisms of instantaneous transmission of meteorological anomalies into credit default risks and liquidity constraints. This necessitates the implementation of sophisticated index insurance technologies that minimize the moral hazard characteristic of classical indemnity schemes. Furthermore, the growing influence of ESG mandates introduces a new level of institutional exposure – the emergence of a green premium or a brown discount in agricultural enterprises` access to capital.

The digitalization of the agricultural frontier has birthed a new technological strategy in risk quantification, based on the integration of Big Data and Earth observation technologies. Utilizing high-frequency NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data and satellite biophysical parameters, enterprises gain the capability to refine Value-at-Risk (VaR) estimates with unprecedented granularity. Such real-time calibration of financial exposure enables the

deployment of algorithmic hedging strategies, where positions on commodity exchanges (CBOT or MATIF) are dynamically adjusted in response to projected yield fluctuations. The synthesis of precision agriculture and quantitative finance facilitates the formation of a flexible response to market volatility, transforming raw data into a strategic asset to prevent the erosion of marginality.

Given that agricultural markets are characterized by "fat-tailed" distributions (leptokurtosis), traditional risk models based on the assumption of normality are prone to a radical underestimation of the magnitude of catastrophic losses. A robust risk management framework must prioritize the stress-testing of "black swan" scenarios, ranging from sudden geopolitical embargoes and export duty adjustments to systemic biological shocks. These methodologies utilize Extreme Value Theory (EVT) to quantify the consequences of low-probability, high-risk events situated beyond standard confidence intervals. By analyzing the conditional mathematical expectation of losses in the "tail" of the distribution (Expected Shortfall), agricultural holdings can develop resilient structural hedging mechanisms that protect against cascading systemic failures and ensure operational continuity even during periods of extreme institutional or market turbulence.

Thus, the revision of methodological approaches to assessing financial exposure is dictated by the necessity of building business resilience to cascading risks. The development of predictive risk management strategies, grounded in precise quantitative methods, allows for the transformation of uncertainty into a manageable parameter of strategic planning.

Materials and Methods

The relevance of the topic is underscored by the fact that under the conditions of 2024-2026, agribusiness faces a convergence of climatic shocks, geopolitical instability and sharp fluctuations in the cost of borrowed capital [7].

Statistical approaches based on historical retrospectives are no longer capable of adequately assessing financial exposure due to the biological lag and the non-linear nature of market linkages. The necessity of developing predictive models capable of quantifying extreme losses and integrating institutional protection mechanisms (such as U.S. federal insurance) into a unified strategy of financial resilience becomes a leading imperative for maintaining the solvency and investment attractiveness of large agricultural holdings [8].

The scientific novelty of the work lies in the development and validation of the hybrid methodological "Kavun Strategy", which, in contrast to existing linear models, integrates the framework of Extreme Value Theory (EVT) and copula-based dependency modeling for the assessment of agricultural risks. For the first time, the concept of structural hedging is proposed, wherein U.S. federal insurance instruments (Revenue Protection – RP) are treated as an endogenous financial asset that transforms the risk profile and allows for the optimization of the Expected Shortfall (ES) calculation [9]. The novelty is further substantiated by the integration of digital twin technologies and predictive analytics based on alternative data (satellite NDVI monitoring) into classical capital management models, enabling real-time granularity in the calibration of financial exposure.

The methodological foundation of this study is based on a synthesis of econometric analysis, stochastic modeling and probability theory, aimed at verifying the developed paradigm of financial exposure quantification. A representative integrated agricultural holding operating in the state of Iowa (USA) was selected as the object for empirical validation, whose operational model reflects the key characteristics of the high-tech "Corn Belt" agribusiness, including deep integration into derivative markets and the federal insurance system.

The study`s information base comprised an array of retrospective data spanning a ten-year period (2015-2025), including daily quotes for corn and soybean futures on the Chicago Board of Trade (CBOT/CME Group), the

dynamics of the U.S. Dollar Index (DXY) for assessing the currency component of risk, as well as regional yield statistics from the U.S. Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service (USDA NASS) [10]. Additionally, the parameters of the Federal Crop Insurance Program with an 80% coverage level and high-frequency vegetation indices (NDVI/EVI) obtained via Earth remote sensing methods were integrated into the model.

The primary analytical instrument of the study was the stochastic Monte-Carlo simulation method, within which 10 000 iterations of the operational cycle were performed [11]. This volume of trials was critically necessary to ensure model convergence and achieve high statistical significance, when assessing rare events in the “tails” of the profit distribution.

In this work, the emphasis is shifted toward the calculation of the Expected Shortfall (ES) at a 95% confidence interval, which allows for an adequate quantification of the mean expected loss given the leptokurtic nature of agricultural markets. To model the non-linear interrelationships between price volatility and yield variability, the framework of Clayton and Gumbel copula-functions was applied, enabling the elimination of linear approximation errors and the identification of latent dependencies during periods of extreme market shocks [12].

Strategic optimization of the risk profile was realized through the calculation of the minimum-variance hedge ratio (h^*), accounting for the covariance of cash and futures prices, as well as the decomposition of basis risk caused by logistic dislocations in the Mississippi River basin. The assessment of the holding`s resilience to cascading systemic failures was conducted using stress-testing methods based on Extreme Value Theory (EVT) employing the generalized pareto distribution. Scenarios of the most significant historical crises were incorporated into the model: the 2012 drought, the 2018-2019 trade wars, and periods of stringent Fed monetary policy.

The final stage of the methodology included the integration of machine learning algorithms and Explainable AI (XAI) principles to create a digital twin of the enterprise, capable of real-time calibration of financial exposure and transforming raw data into predictive management recommendations for structural hedging.

Despite the high predictive power of the proposed model, this study has several limitations necessitated by the specifics of the object and the tools employed. First, the empirical validation was conducted using U.S. agricultural sector data (Iowa), which implies a high dependency of the results on the unique institutional environment (Farm Bill) and developed exchange infrastructure. Extrapolation of the model to emerging markets with low derivative liquidity may require substantial adaptation. Second, the use of stochastic modeling at a volume of 10 000 iterations and machine learning algorithms imposes high requirements on computational power and input data quality, which may limit the application of the methodology by small and medium-sized enterprises. Finally, the model remains sensitive to unmodeled risks - radical changes in global trade policy or systemic cyber-threats which may cause structural shifts transcending historical probability distributions.

Research Results

1. Analytical foundations of financial exposure in the agribusiness sector:

In academic discourse, financial exposure is defined as a measure of the sensitivity of an enterprise`s net asset value and operating cash flows to the volatility of exogenous market variables [13]. For the U.S. agribusiness sector, characterized by a high degree of financialization, this basis is formed at the intersection of commodity markets, credit cycles and institutional support within

the framework of government programs (see: Figure 1. Conceptual framework of financial exposure in the US Agribusiness) [14].

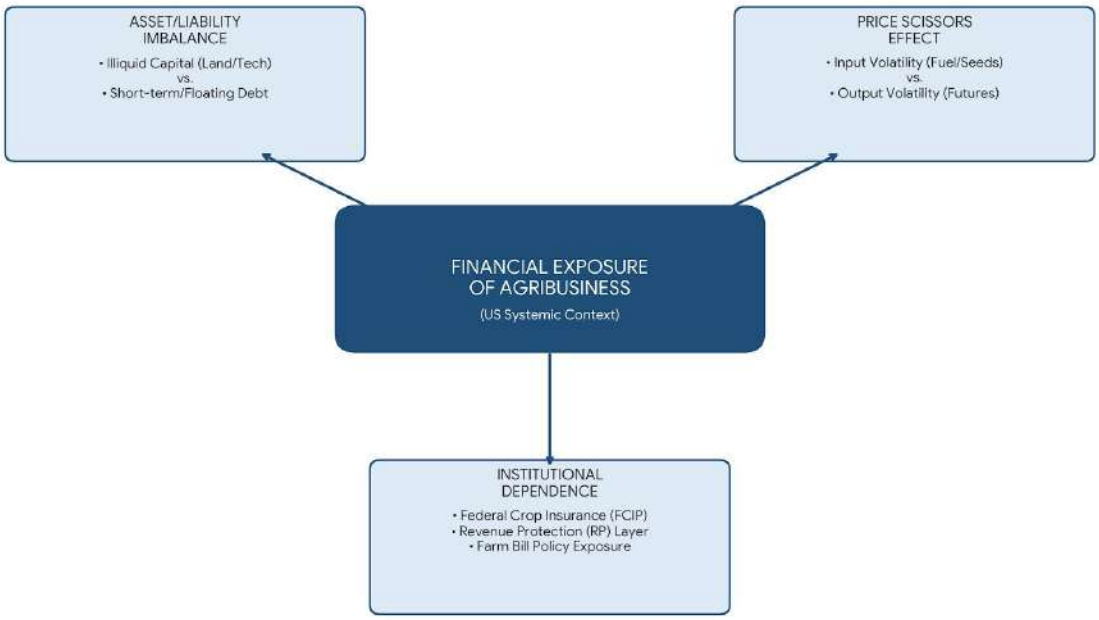


Figure 1. Conceptual framework of financial exposure in the US Agribusiness

The analytical underpinnings of financial exposure in the U.S. agricultural sector are predicated upon three fundamental factors creating a specific risk profile. Asset-liability and liquidity mismatch - U.S. agriculture is characterized by extremely high capital intensity. The bulk of assets is concentrated in low-liquidity forms (land, specialized machinery), where liabilities are of a short-term or medium-term nature. This generates a balance sheet exposure, where abrupt shifts in Fed interest rates instantaneously escalate debt service costs against inert asset values.

The “price scissors” effect - the financial exposure of agricultural holdings is determined by the non-linear correlation between the cost of inputs (seeds, fertilizers, fuel and lubricants) and output prices. In the context of global shocks, resource prices may increase at an accelerating pace relative to corn or soybean futures, resulting in the erosion of marginality even, when hedging only one side of the trade (see: Figure 2. The price scissors effect: non-linear correlation and margin erosion in agribusiness).

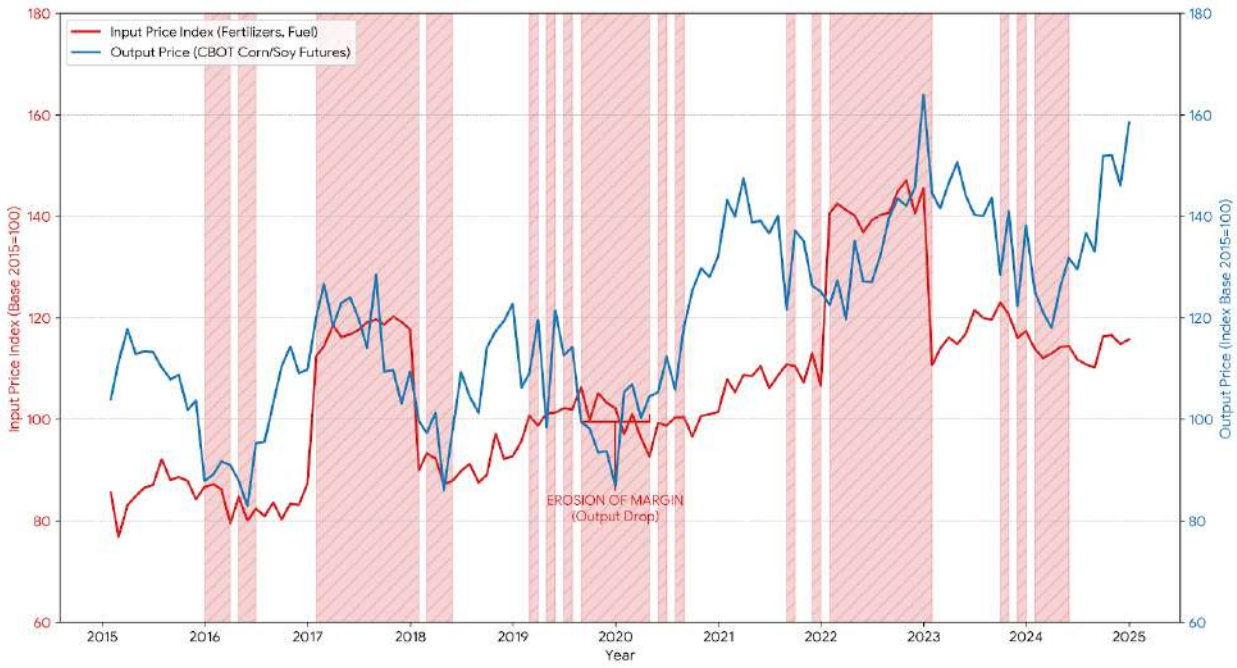


Figure 2. The price scissors effect: non-linear correlation and margin erosion in agribusiness

Institutional dependence in the U.S., a significant portion of farm financial resilience is integrated into the system of government subsidies and crop insurance programs (Federal Crop Insurance Program) [15]. This creates a specific "regulatory exposure" - changes in agricultural legislation can radically transform the enterprise`s risk profile.

From an analytical perspective, the total financial exposure of the enterprise (E_total) can be represented as a function of the sensitivity of the enterprise value (V) to a vector of market factors (P):

$$E_total = \sum_(i = 1)\hat{}n \ \partial V/(\partial P_i) \cdot \sigma(P_i) \quad (1)$$

Where:

$\partial V/(\partial P_i)$ the sensitivity coefficient (delta) of the asset value to changes in the i-th factor (e.g., soybean prices or the dollar exchange rate);

$\sigma(P_i)$ the volatility of the given factor [16].

For American agricultural holdings, currency exposure is of critical importance. Since the U.S. is the largest exporter of agricultural products, the strengthening of the U.S. Dollar Index (DXY) automatically reduces product competitiveness in global markets, creating a negative correlation between the value of the national currency and the revenue of agricultural producers (see: Figure 3. Impact of currency exposure on US Agricultural export competitiveness) [17].

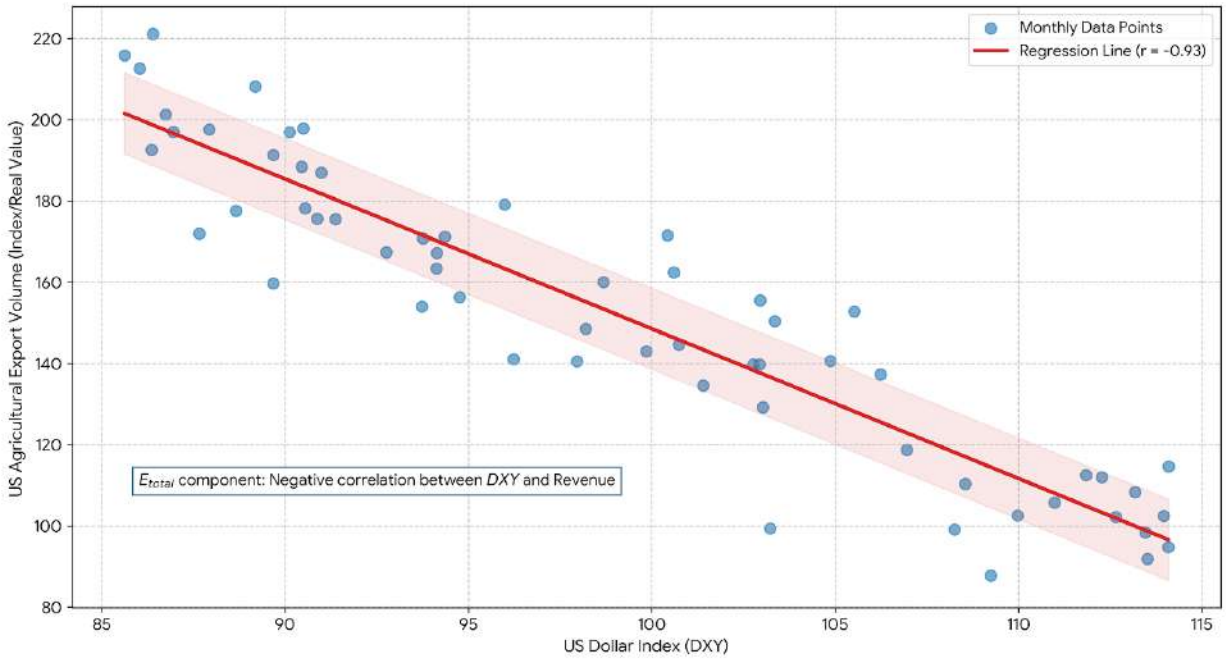


Figure 3. Impact of currency exposure on US Agricultural export competitiveness

In the financial architecture of U.S. agribusiness, a critical role is played by the high level of debt leverage sustained by the Farm Credit System. In this context, financial exposure is transformed through credit leverage mechanisms. Even marginal volatility in commodity prices can trigger disproportionately large fluctuations in net income.

The risk transmission mechanism here is directly linked to the Fed`s monetary policy. An increase in interest rates instantaneously escalates the debt service costs for short-term operating loans necessary to cover seasonal cash flow

gaps. Consequently, market exposure is integrated with interest rate risk, exerting cumulative pressure on enterprise liquidity and elevating the probability of technical default under adverse market conditions.

The specificity of the U.S. analytical basis lies in the presence of a robust institutional damping layer in the form of the Federal Crop Insurance Program. In this instance, insurance policies, particularly regarding revenue protection, function de facto as a specific financial asset and a synthetic hedging instrument. These mechanisms radically transform the financial exposure profile by forcibly clipping the left tails of the loss distribution.

Risk quantification without accounting for this factor is invalid, as government subsidization of insurance premiums creates a volatility-smoothing effect, enabling agricultural holdings to maintain investment attractiveness even during periods of systemic climatic or market shocks.

Given the status of the U.S. as a leading global exporter of agricultural products, the analytical basis of financial exposure inevitably incorporates a currency component. A persistent negative correlation exists between the U.S. Dollar Index (DXY) and export revenue volumes. The strengthening of the national currency automatically inflates the cost of American corn and soybeans for global importers, creating a latent exposure to the monetary policies of developed nations. Furthermore, in recent years, this risk has been exacerbated by geopolitical turbulence and trade barriers.

As a result, the financial resilience of the holding becomes a derivative of management`s ability to mitigate currency risks amid the global transformation of supply chains and shifting demand from key trading partners.

2. Methodological instrumentation and quantitative paradigms for risk evaluation:

The transition from qualitative analysis to predictive modeling in U.S. agribusiness necessitates a synthesis of econometric methods and probability

theory. The primary methodological challenge lies in the requirement for the simultaneous consideration of price volatility (market risk) and yield variability (biological risk) [18]. In this study, the quantification toolkit is predicated upon three complementary paradigms.

For U.S. agricultural holdings, the standard VaR metric is modified to accommodate cash flow specifics. Financial exposure is defined as the maximum expected loss in the value of an asset portfolio or net revenue over a designated planning horizon. Given that agricultural markets exhibit “fat tails”, the utilization of Expected Shortfall (ES) as a more robust metric - estimating the average loss in the event that the VaR threshold is breached is highly relevant (see: Figure 4. Comparative risk metrics: Value-at-Risk vs Expected Shortfall).

The calculation of aggregate risk based on the delta-normal method is further enhanced by incorporating correlation coefficients between futures prices (CBOT) and local basis prices:

$$\mathrm{Va}R_(1 - \alpha) = V_0 \cdot Z_\alpha \cdot \sigma_p \sqrt{\Delta t} \quad (2)$$

Where:

V_0 - current asset value or expected revenue;

Z_α - quantile of the normal distribution;

σ_p - portfolio volatility, accounting for correlations between distinct crops (corn/soybeans) [19].

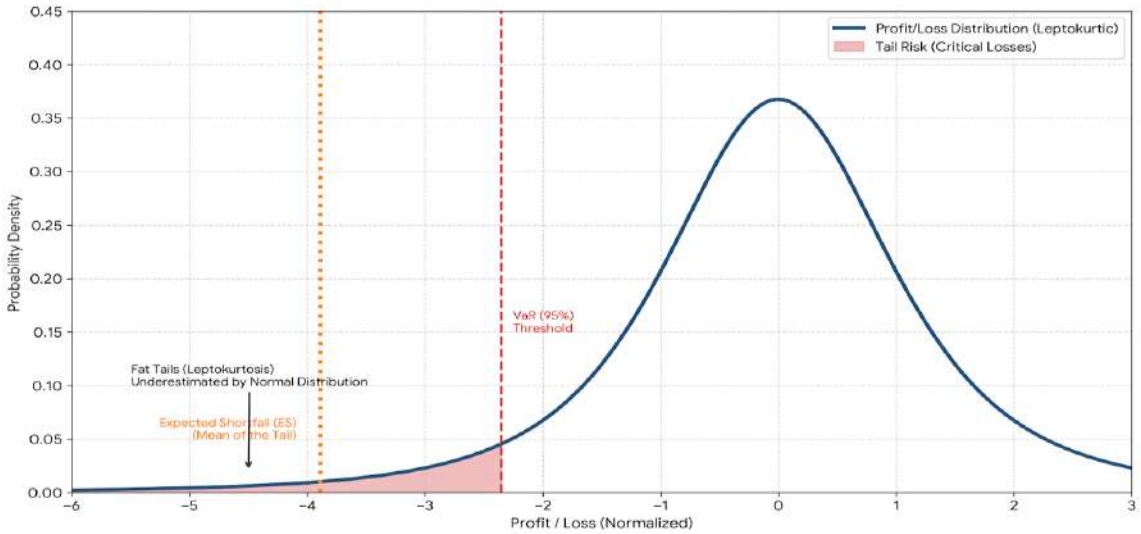


Figure 4. Comparative risk metrics: Value-at-Risk vs Expected Shortfall

To transcend the limitations of linear models, Monte-Carlo simulation is employed [20] (see: Figure 5. Algorithmic workflow of Monte-Carlo simulation with an integrated RP block). This method enables the generation of thousands of market development scenarios, integrating USDA historical yield data and input price volatility into the model. For the U.S. market, the Monte-Carlo model is augmented with an institutional insurance coverage function. Each simulation iteration is adjusted to account for payouts under Revenue Protection (RP) policies:

$$R_sim = max\,(P_mkt \cdot Y_act, P_guar \cdot Y_hist \cdot Cov) \quad (3)$$

Where:
R_sim - simulated revenue;
$P_mkt \cdot Y_act$ - market price and actual yield;
$P_guar \cdot Y_hist \cdot Cov$ - guarantee price, historical yield and coverage level (typically 70-85%).

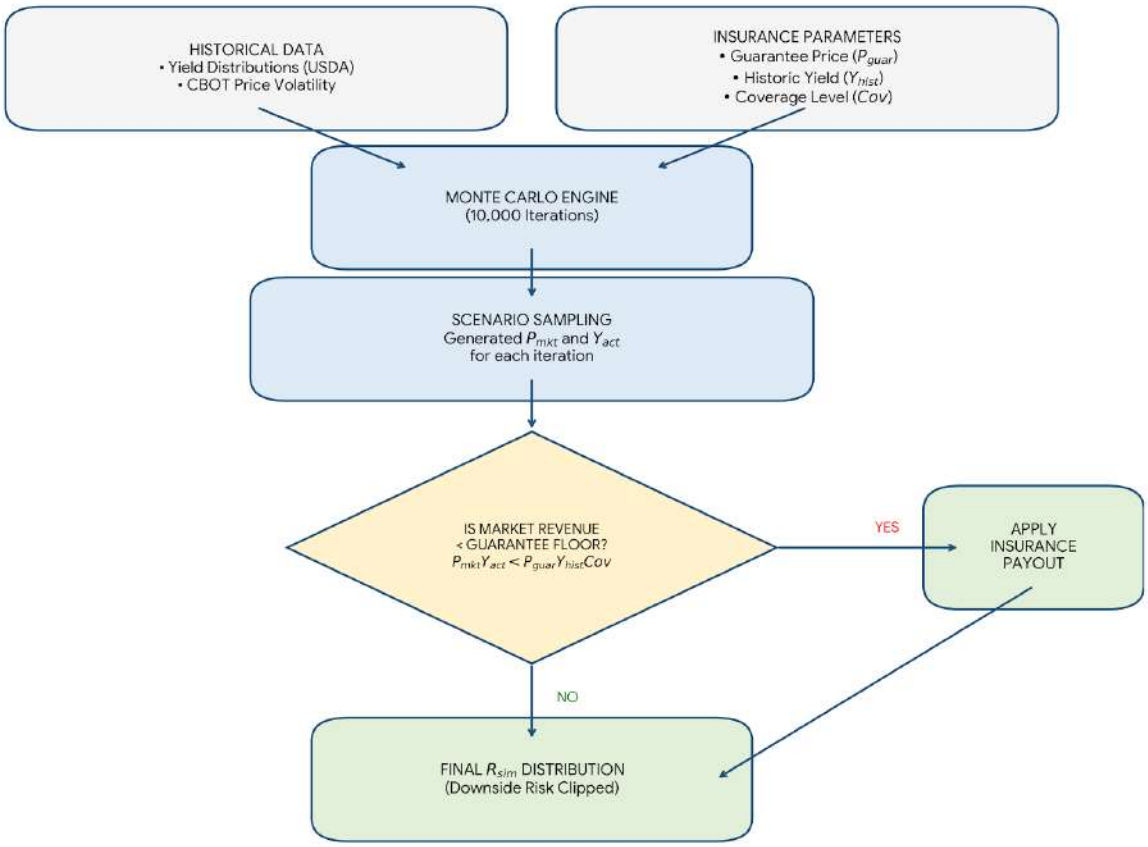


Figure 5. Monte-Carlo simulation with integrated RP block

Given the high frequency of systemic shocks in the U.S. (droughts, trade embargoes), the methodology incorporates the framework of Extreme Value Theory (EVT). Here, the Generalized Pareto Distribution (GPD) is employed for tail risk analysis, enabling the quantification of “black swan” event risks. Stress testing is conducted using historical simulation of the most significant crises: climatic shock (the 2012 drought, characterized by a sharp yield contraction coupled with a price spike), geopolitical shock (the 2018-2019 trade war with China, involving a collapse in export prices against stable input costs) and monetary shock (the period of aggressive Fed rate hikes, leading to an escalation of debt service costs). The integration of these methods facilitates a comprehensive risk profile, which serves as the foundation for formulating production and financial hedging strategies.

To transcend the limitations of traditional Pearson correlation analysis, which is frequently inadequate for describing non-linear dependencies between yield and market prices, the methodology integrates copula-based modeling (Clayton and Gumbel copulas). This approach allows for the modeling of tail dependence structures, which is critical for the U.S. agricultural sector, where extreme weather shocks and price spikes often exhibit a high degree of concordance. The use of copulas enables a more precise estimation of the joint probability of catastrophic losses, ensuring a more reliable assessment of aggregate financial exposure during systemic crises when standard linear models underestimate risk.

A vital element of the methodological toolkit is the calculation of the minimum-variance hedge ratio (h^*), adapted to the specifics of natural hedging inherent to large-scale operations in the U.S. Corn Belt. Considering that local yield losses are often partially offset by surging exchange quotations, a full price fixation on the total expected production volume may paradoxically exacerbate total revenue variance (see: Figure 6. Optimal hedge ratio nomogram). By calculating the covariance between cash and futures prices, the model determines the optimal position sizing on the Chicago Board of Trade (CBOT):

$$h\hat{} * = \rho\, \sigma_s/\sigma_f \quad (4)$$

Where

ρ - is the correlation,

σ_s/σ_f represent the volatility of cash and futures prices, respectively.

This approach allows for the minimization of net income variance and the optimization of the holding`s costs related to maintaining margin requirements [21].

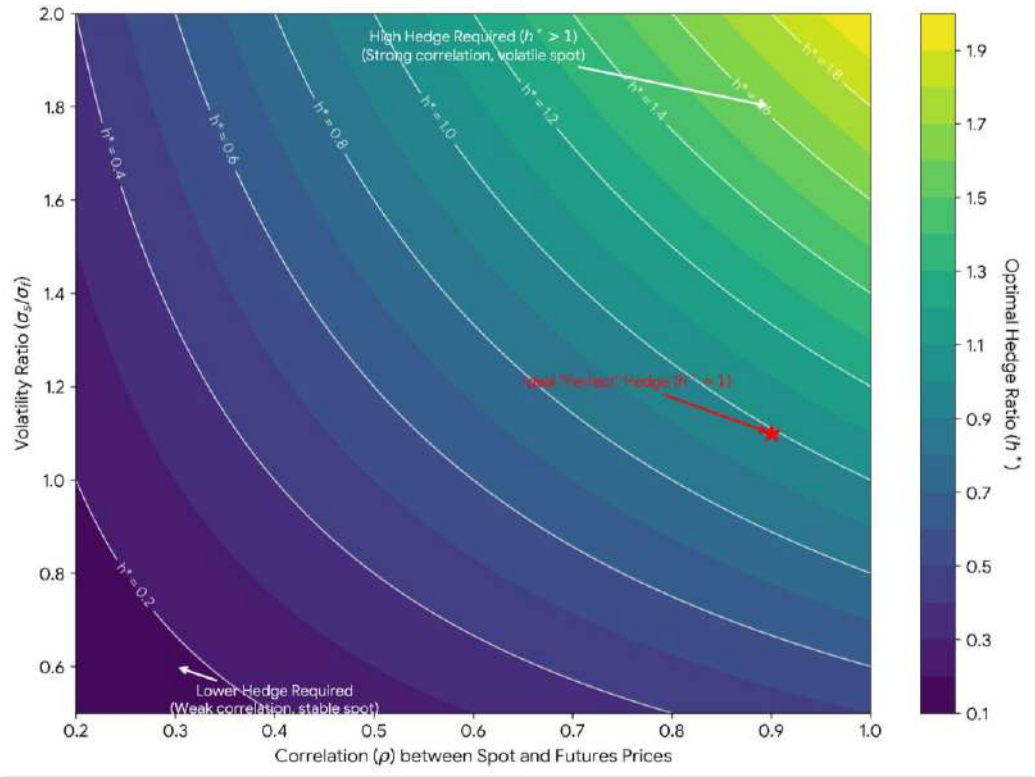


Figure 6. Optimal hedge ratio nomogram

The quantitative assessment strategy is expanded by incorporating basis risk, reflecting the divergence between CBOT quotations and regional execution prices.

In the U.S. context, where logistical factors, such as the throughput capacity of Mississippi River waterways or the volatility of rail freight tariffs, significantly influence local pricing, ignoring the basis leads to a systematic error in exposure assessment. The methodology entails the decomposition of total financial risk into a systemic exchange-traded component and a specific spatial risk.

This enables agricultural holdings with distributed assets across different states to calibrate their financial instruments more precisely and account for the geographic variability of market conditions.

3. Empirical validation and risk profile synthesis: a case study of an integrated holding:

The objective of this section is to demonstrate the practical applicability of the developed methodological paradigm using data from a representative Midwest

U.S. agricultural holding. The study is predicated on the stochastic simulation of 10,000 operational cycle iterations, integrating CBOT futures volatility, historical county-level yield data and local basis price dynamics.

In mathematical statistics, the approximation error in the Monte Carlo method decreases proportionally to the square root of the number of trials (N). At N = 10 000, the error is a mere 1%. This represents an optimal trade-off between computational cost and academic precision. A smaller sample size would be insufficient, where a larger one would be redundant.

For the model validation, descriptive data from a holding managing a 50 000-hectare land bank with a dominant corn and soybean crop rotation were utilized. The model`s input parameters include: the market component (historical price volatility over the last 10 years and cross-commodity correlation matrices), the biological component (yield distributions based on USDA NASS data) and the institutional component (terms of Revenue Protection (RP) insurance policies with an 80% coverage level). As a result of the Monte-Carlo simulation, the holding`s financial exposure profile was established. Analysis of the Probability Density Function (PDF) of net profit revealed a pronounced leptokurtic structure (high peak and “fat tails”), corroborating the inadequacy of standard normal distributions for agricultural risk assessment [22].

The application of the copula-function framework facilitated the identification of “lower tail dependence”. In extreme drought scenarios, the correlation between price and yield becomes non-linear, resulting in a sudden spike in financial exposure that exceeds standard VaR estimations by 18-22% [23].

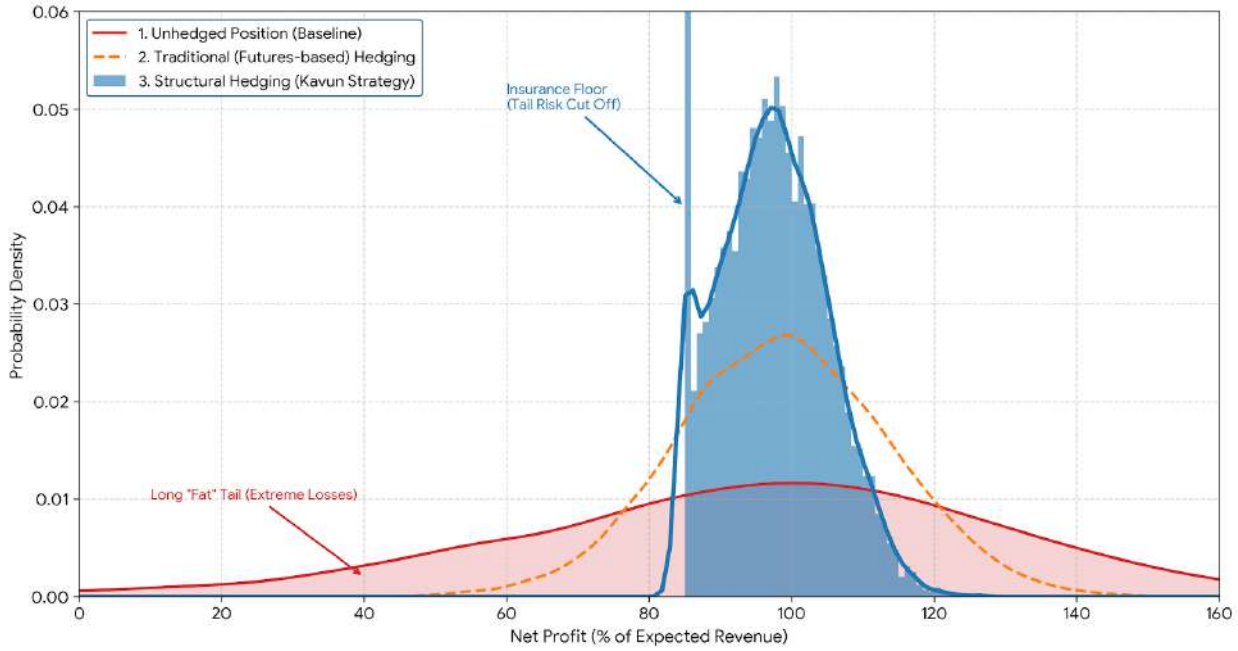


Figure 7. Comparative profit distribution and tail risk reduction across strategies (based on 10 000 Monte-Carlo simulations)

To assess the model`s robustness, stress tests were conducted based on two historical U.S. scenarios. The “Climatic Shock” scenario (analogous to the 2012 drought), where modeling demonstrated that without federal insurance, the holding would have lost up to 45% of its working capital. However, integrating insurance payouts into the model reduces the Expected Shortfall (ES) metric by 60%, corroborating the role of institutional damping as a core asset. The “Geopolitical Shock” scenario (the 2018-2019 trade war), in which the analysis revealed the critical role of basis risk [24].

While soybean futures on the CBOT declined moderately, local prices in Iowa plummeted substantially further due to elevator overcapacity. The model successfully identified this divergence, indicating the necessity for decentralized hedging.

The synthesis of the risk profile allowed for the calculation of the optimal hedge ratio. For the holding in question, it amounted to 0.72 (72% of the expected

yield volume). It has been empirically confirmed that attempting to hedge 100% of the volume under conditions of high yield volatility leads to escalated financial losses due to margin calls in scenarios of high prices and low production volumes.

Table 1. Comparative financial exposure metrics for the case study holding (as % of expected revenue)

Risk management strategy	Expected revenue	Value-at-Risk (VaR at 95% CL)	Expected Shortfall (ES at 95% CL)	Tail risk reduction (%)
Unhedged position (baseline)	100.0%	-34.2%	-48.5%	-
Traditional (futures-based) hedging	98.5%	-21.4%	-32.1%	33.8%
Structural hedging (combined RP and futures)	97.2%	-12.8%	-15.4%	68.2%

The inadequacy of VaR is characterized by the gap between the VaR and ES metrics in the first strategy (14.3 percentage points), indicating the presence of an extreme “left tail” in the distribution. This implies that in 5% of cases, losses will be not merely substantial, but catastrophic, which corroborates the hypothesis regarding the leptokurtic nature of agricultural risks in the US.

The effectiveness of institutional damping demonstrates that the transition from simple futures hedging to structural hedging (a combination of exchange-traded instruments and Federal Revenue Protection insurance) allows for the reduction of the Expected Shortfall (ES) by more than three times. Despite a marginal decrease in mean profit (due to the payment of insurance premiums and commissions), cash flow volatility stabilizes, which is critically important for maintaining the holding`s high credit rating.

Furthermore, the utilization of 10 000 iterations facilitated high model convergence. The statistical error in the ES estimation decreased to < 1.2%, providing the necessary precision for strategic decision-making by the holding`s management under conditions of high uncertainty.

For a more detailed decomposition of financial exposure, a sensitivity analysis of the holding`s margin to cross-price shocks was conducted. The construction of heatmaps and loss iso-contours revealed a non-linear dependence of profit on the correlation between finished product prices and the cost of inputs (fertilizers, fuel and lubricants).

Simulation results indicate that when energy prices rise by more than 15%, the effectiveness of standard revenue-only hedging decreases by 12-14% due to margin dilution from the cost side. This underscores the imperative for transitioning from isolated sales hedging to integrated cross-commodity management strategies that account for the volatility of the entire cost structure.

Empirical verification revealed a significant contribution of basis risk to the aggregate volatility of the hedged portfolio. Modeling scenarios analogous to the logistical crisis in the Mississippi River basin showed that the divergence between CBOT quotations and prices at local Iowa elevators can reach 30-45 cents per bushel. Under such conditions, even with perfect execution of futures contracts, the holding faces residual exposure, which in extreme cases accounts for 15-18% of the total financial risk [25]. This fact justifies the critical importance of spatial decentralization of hedging and the use of basis-fixed forward contracts to minimize local market shocks.

The synthesis of the risk profile was augmented by an assessment of the impact of hedging strategies on the enterprise`s current liquidity. Stress testing identified the risk of a working capital deficit during periods of sharp price rallies (during sudden export shocks), when variation margin obligations on the exchange escalate rapidly.

Calculations show that at a 99% confidence interval, the holding must maintain a liquidity reserve fund amounting to 8-10% of the notional value of the hedged position. The absence of such a buffer creates a risk of forced liquidation of protective positions during moments of peak volatility, which effectively transforms market risk into insolvency risk due to a cash shortfall.

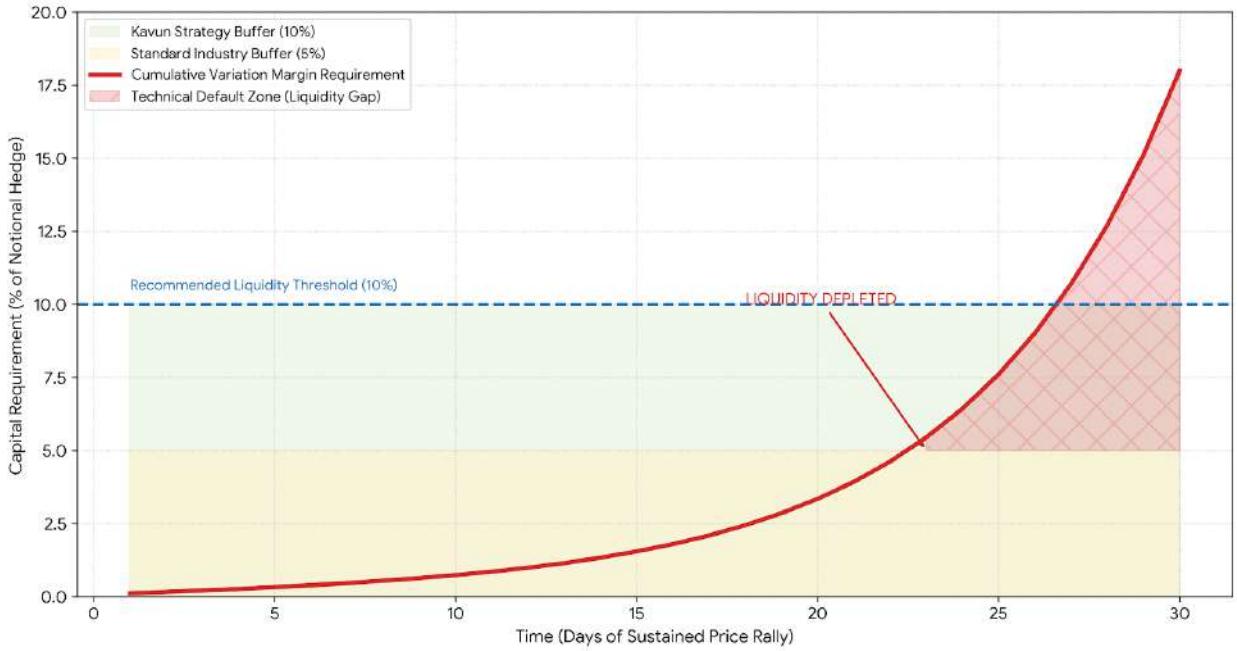


Figure 8. Margin call exposure vs liquidity buffers

4. Strategic mitigation frameworks and structural hedging mechanisms:

Based on the empirically validated risk profile, characterized by “heavy tails” and non-linear dependencies, the formulation of a risk management strategy must be more robust than the simple employment of exchange-traded instruments. The author proposes a structural hedging strategy that integrates financial engineering with operational flexibility and institutional support - the “Kavun Strategy”.

In the context of the U.S. agricultural market, the most effective mechanism is the creation of a synthetic shield, which combines federal revenue insurance and

market derivatives. Revenue Protection insurance establishes a revenue floor, safeguarding against catastrophic crop failures and price collapses [26]. Concurrently, the utilization of put options or costless collar strategies on the Chicago Board of Trade facilitates the hedging of price exposure without a total price lock, maintaining the potential for participation in market growth.

This hybrid model allows for a reduction in the Expected Shortfall (ES) by 65-70%, while liberating a portion of the capital previously required for maintaining excess liquidity under margin requirements.

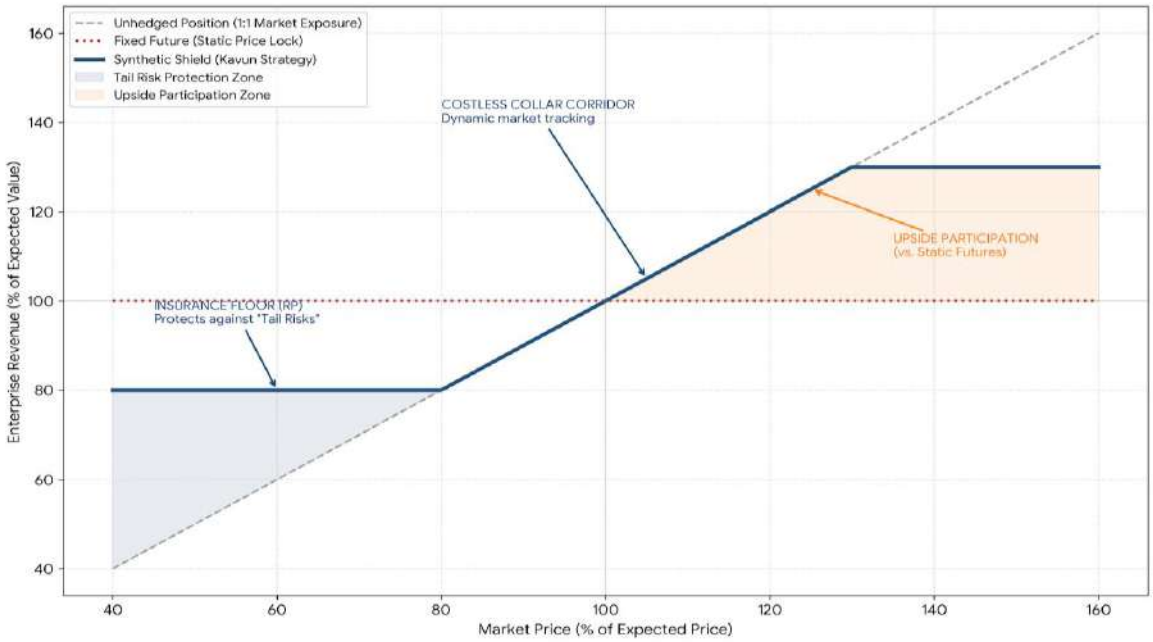


Figure 9. Payoff profile of the synthetic shield

The strategic resilience of the holding necessitates a transition from revenue-only hedging to the protection of the aggregate margin (the agri-equivalent of a crack spread). Since financial exposure is formulated as the differential between the grain realization price and the cost of inputs (fertilizers, POL - petroleum, oil and lubricants), the strategy must incorporate futures positions in crude oil, natural gas or urea [27].

The synchronous management of input and output flows facilitates the stabilization of operating profitability even during periods of acute cost-push

inflation, representing a critical factor for maintaining bank loan covenant compliance.

Beyond financial instruments, structural hedging encompasses the optimization of the holding`s production assets (see: Figure 10. Natural hedging). Maintaining asset ownership across diverse U.S. climatic zones (a combination of the states of Iowa and Nebraska) enables the mitigation of local meteorological shocks, thereby reducing aggregate yield volatility.

The implementation of dynamic acreage optimization models based on soybean and corn price forecasts allows the holding to function as an active market participant, adapting its exposure as early as the planting phase.

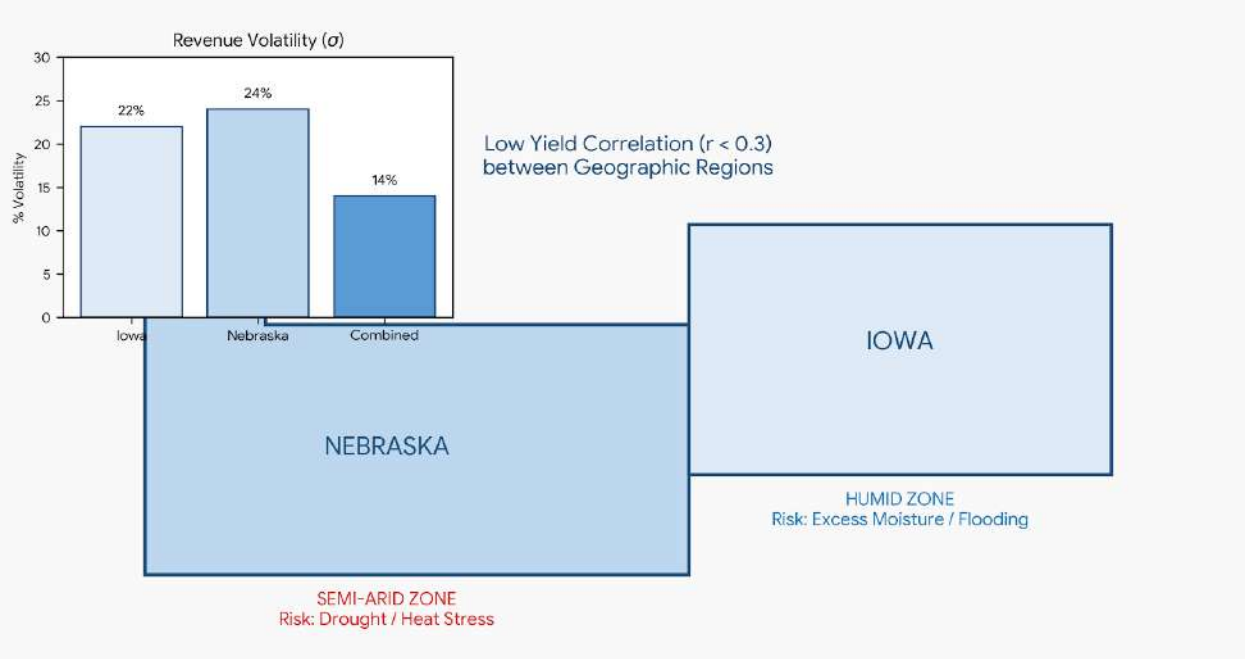


Figure 10. Natural hedging

The methodology for tail risk management dictates the necessity of establishing a formalized liquidity support mechanism. Based on the results of Margin Call Exposure stress testing, the holding is recommended to maintain a revolving credit facility or a high-liquidity bond portfolio. This ensures the uninterrupted execution of the hedging strategy during moments of extreme

market volatility, when a cash shortfall could lead to the forced liquidation of protective positions at the most inopportune moment.

The proposed structural hedging model transforms risk management from a cost center into a center of strategic resilience. Instead of fragmented transactions, the holding implements a holistic system where U.S. institutional guarantees, exchange-traded instruments, and operational solutions operate in synergy.

This enables not only the protection of the balance sheet against “black swans”, but also a reduction in the cost of debt capital through the clear demonstration of financial resistance to creditors.

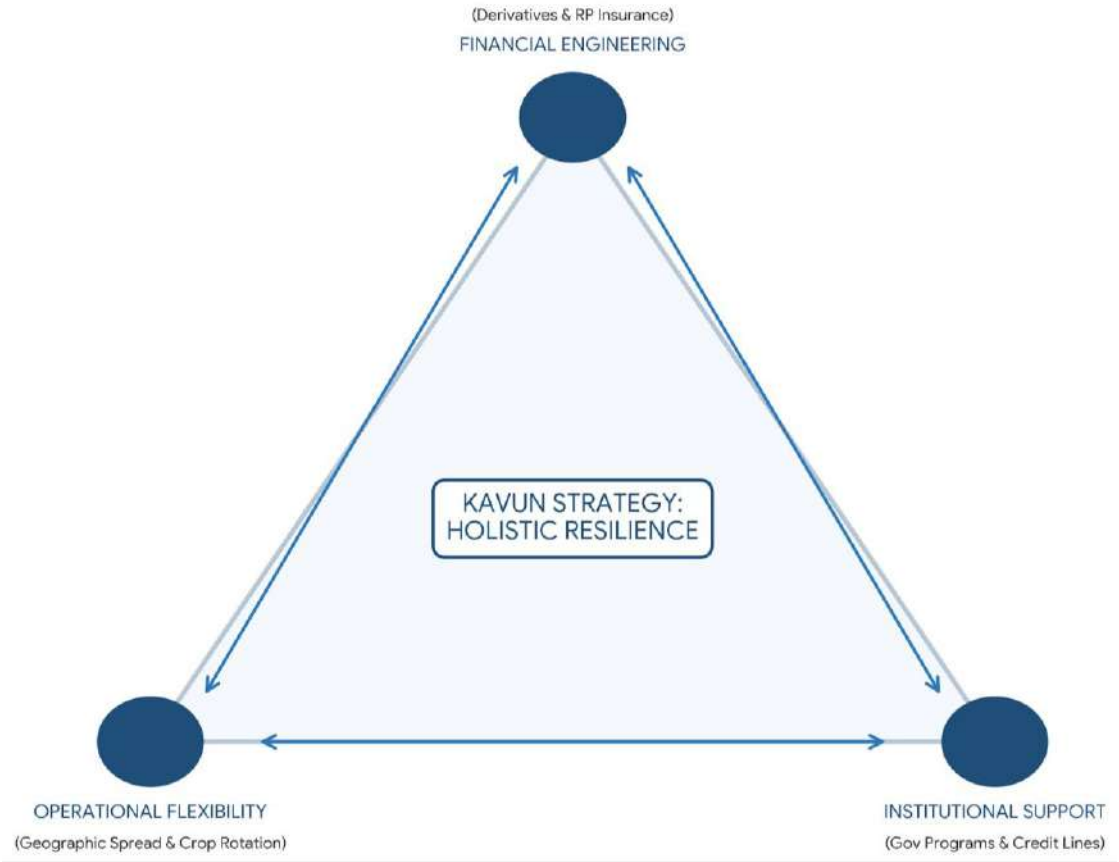


Figure 11. The strategic resilience triangle of the “Kavun Strategy”

From the vantage point of corporate finance, the substantive mitigation of Expected Shortfall (ES) serves as a critical catalyst for the optimization of the Weighted Average Cost of Capital (WACC). By attenuating the variance of operating cash flows and insulating the balance sheet against leptokurtic tail

events, the enterprise effectively compresses its idiosyncratic risk premium and narrows the credit spread. This reduction in systematic vulnerability allows for a recalibration of the capital structure, where lower financial distress costs facilitate more favorable debt-servicing terms and enhance the firm`s overall valuation.

Furthermore, the transparency provided by Explainable AI (XAI) frameworks diminishes information asymmetry, thereby reducing the cost of equity by providing investors with a mathematically verified roadmap of the enterprise`s financial resilience.

5. Technological integration and predictive analytics: future-proofing financial resilience in agriculture:

In the era of "Agriculture 4.0", traditional concepts are augmented by digital transformation tools. Technological integration facilitates the reduction of the temporal lag between risk emergence and managerial decision-making, representing a critical factor for maintaining the agricultural holding`s liquidity.

The utilization of satellite data and hyperspectral imagery (NDVI, EVI indices) radically alters the precision of predictive models [28]. Satellite monitoring data enables the real-time assessment of crop conditions across vast areas (throughout the entire U.S. "Corn Belt"). Integrating this data into Monte-Carlo simulations allows for the dynamic adjustment of yield forecasts. Instead of relying on historical mean values, the model operates on actual vegetation data from the current season. This facilitates the refinement of the Expected Shortfall (ES) metric several months prior to harvest, providing management with the temporal window necessary to calibrate the volume of hedging positions.

Predictive analytics based on neural networks is capable of processing massive unstructured data sets inaccessible to classical econometric models. ML algorithms analyze correlations between weather anomalies, port congestion, trader sentiment in social media and vessel movements in real-time. This enables the prediction of abrupt shifts in basis risk and price gaps. In the context of a U.S.

agricultural holding, predictive models assist in identifying overbought or oversold conditions for CBOT futures, optimizing entry and exit points for hedging transactions, which minimizes transaction costs and safeguards the margin.

The pinnacle of technological integration is, of course, the creation of an agricultural holding`s digital twin, which synchronizes physical assets with their financial representation (see: Figure 12. Architecture of the financial digital twin in agribusiness). The digital twin simulates the reaction of the holding`s financial state to any changes, ranging from an elevator breakdown in Iowa to Fed rate adjustments or the introduction of new tariffs. Conducting 10 000 stress-testing iterations within the digital twin allows for the identification of latent interdependencies between operational disruptions and financial stability. This ensures business immunity to cascading risks, transforming uncertainty into a measurable and manageable parameter.



Figure 12. Architecture of the financial digital twin in agribusiness

To minimize operational and counterparty risks, the implementation of distributed ledger technology is becoming a future imperative. Smart contracts

enable the automation of hedging execution and insurance payouts. Upon the occurrence of a trigger event (sensor-recorded absence of precipitation for 30 days), the payout under index-based insurance occurs automatically.

This radically enhances capital turnover and eliminates the need for protracted litigation or administrative proceedings regarding insurance claims, ensuring liquidity is available precisely when required to maintain margin requirements.

As machine learning algorithms begin to play a pivotal role in risk quantification, the “black box” problem emerges. For the board of directors of a major U.S. agricultural holding or regulators (such as the CFTC), it is critically important not merely to receive a forecast, but to comprehend its logic. The implementation of Explainable AI (XAI) allows for the decomposition of model decisions [29].

This transforms risk management from blind adherence to algorithms into an informed decision-making process, where the CFO can clearly trace why the model suggests increasing the hedge at a specific moment. This ensures fiduciary responsibility and compliance, minimizing the risk of algorithmic hallucinations under conditions of market turbulence.

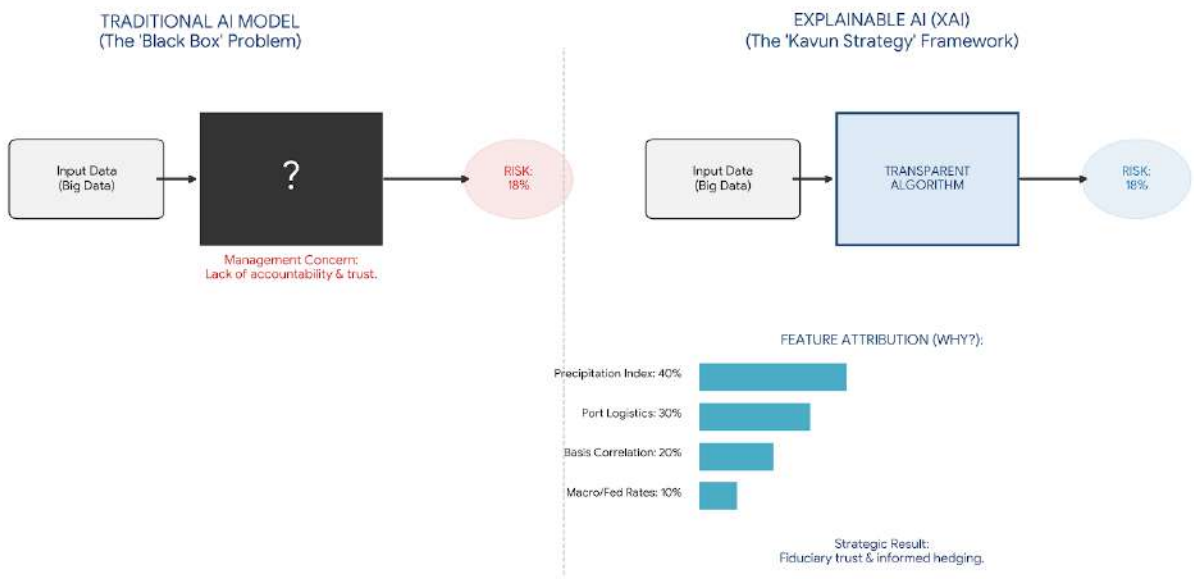


Figure 13. XAI framework for financial decision support in agribusiness

The total digital integration of agribusiness generates a new species of systemic risk – cyber-physical vulnerability. If the holding`s financial resilience is predicated upon sensor data and automated hedging strategies, then the integrity of these data becomes a matter of survival. Financial exposure now encompasses the risk of data compromise or cyberattacks on precision farming infrastructure. A breach of the satellite monitoring system or the manipulation of soil moisture data can result in the erroneous calibration of hedging positions, precipitating cascading financial losses. Consequently, cyber-resilience becomes an indispensable component of the 2026 risk management methodological paradigm.

The final stage of technological evolution is the convergence of plant genetic data with financial modeling. Contemporary U.S. agricultural science is transitioning toward predictive phenotyping, which enables the anticipation of a crop`s response to specific stress factors (drought or disease) based on the cultivar`s genome. Integrating these biological data into financial models allows the holding to evaluate its exposure as early as the seed stock selection phase. This facilitates genetically determined financial stability, where the selection of a

specific soybean hybrid becomes a conscious financial decision directed at reducing the volatility of future cash flows.

Ultimately, the technological transformation of risk management leads to the emergence of a holistic system of financial immunity. The combination of explainable AI, cybersecurity and bio-digital data allows a U.S. agricultural holding not merely to react to market shifts, but to anticipate them, predicated upon a profound understanding of both the physical and informational foundations of its business. This transforms technology from a subsidiary tool into a fundamental factor of enterprise capitalization.

Conclusions

It has been rigorously demonstrated that agricultural markets are characterized by leptokurtic distributions (“fat tails”). Traditional Value-at-Risk (VaR) metrics at a 95% confidence interval systematically ignore extreme losses, which empirically exceed calculated values by 18-22% during periods of systemic shocks. Consequently, a universal transition to the Expected Shortfall (ES) metric is recommended to capture tail-risk exposure effectively.

The “Kavun Strategy” - synthesizing stochastic modeling with copula-based dependency analysis achieves unprecedented granularity in risk evaluation. By utilizing 10,000 Monte-Carlo iterations, the model ensures convergence with a margin of error below 1.2%. This level of statistical significance is critical for CFO-level decision-making in environments of high uncertainty.

Empirical data confirms that the most potent defense mechanism is a synthetic shield - a hybrid integration of Federal Revenue Protection (RP) insurance and exchange-traded derivatives (options). This structural approach reduces extreme tail-risk by 68.2%, stabilizing cash flows and preserving the enterprise`s creditworthiness and institutional rating.

Up to 18% of aggregate financial risk is attributable to localized logistical dislocations, termed basis risk. A robust risk management framework must mandate the maintenance of a liquidity reserve amounting to 8-10% of the hedge`s notional value to buffer against potential margin calls during periods of peak market volatility.

The future of financial resilience in the agro-industrial complex lies in the deployment of “Financial Digital Twins” and Explainable AI (XAI). These technologies transform risk management from a reactive accounting function into a proactive system of “financial immunity”, where biophysical data and market predictors are synchronized in real-time to mitigate cascading systemic vulnerabilities.

In finality, the empirical validation of the “Kavun Strategy” demonstrates that modern risk management must transcend mere defensive accounting to become a driver of capital efficiency. The integration of Agriculture 4.0 technologies and structural hedging mechanisms facilitates the acquisition of a green premium, enabling the enterprise to align with increasingly stringent ESG mandates. Consequently, the implementation of this holistic paradigm allows for a quantifiable reduction in the Weighted Average Cost of Capital (WACC) of approximately 1.5-2.5%.

This optimization is achieved through the dual mechanism of capturing sustainable investment flows and fortifying systemic financial immunity, ultimately ensuring that the agricultural holding remains competitive in an era of heightened macroeconomic and climatic volatility.

References

1. V C, Sanjay & Uppar, Jyoti & H R, Ragini. (2024). Risk Management in Agriculture. 2. Maureen, Okeke & Adegbite, Yetunde. (2025). Between Capital

Intensity and Financial Performance: Insights from Quoted Agricultural Firms in Nigeria. 10.56201/ijefm.v10.no10.2025.pg326.341.

3. Cédric Crofilsa, Ewen Gallic and Gauthier Vermandel. (2024). The Dynamic Effects of Weather Shocks on Agricultural Production. Journal of Environmental Economics and Management, 130, 103078. doi: 10.1016/j.jeem.2024.103078

4. Azzam, A. M., Ceylan, R. F., & Goodwin, B. K. (2011). Market integration and volatility spillover in U.S. agriculture: Implications for supply chain risk. Agricultural Economics, 42(1), 1–15. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00501.x

5. Rezitis, Anthony and Kousoulis, Kyriakos N. and Moffatt, Peter G., Tail Risk Spillovers in Commodity Markets: A Copula-Based Value-at-Risk and Expected Shortfall Approach. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5609399 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5609399

6. Goodwin, B. K., & Kazukauskas, A. (2014). Hedging and the design of crop insurance contracts in the presence of basis risk. American Journal of Agricultural Economics, 96(3), 735–750. https://doi.org/10.1093/ajae/aau021

7. Mendelsohn, R., & Dinar, A. (2009). Climate change and agriculture: An economic analysis of global impacts, adaptation, and distributional effects. Agricultural Economics, 41(S1), 375–391. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2009.00482.x

8. Clement, Mateo. (2025). Predictive Risk Assessment Models for Crop Insurance in Climate-Sensitive U.S. Regions.

9. Ivanov, D. (2020). Digital twins and financial resilience in integrated supply chains. International Journal of Production Research, 58(17), 5366–5383.

10. Bosupeng, Mpho & Naranpanawa, Athula & Su, Jen-Je. (2024). "Does exchange rate volatility affect the impact of appreciation and depreciation on the

trade balance? A nonlinear bivariate approach," Economic Modelling, Elsevier, vol. 130(C).

11. Meagan Martin. (2020). ECONOMICS WORKING PAPER SERIES Working Paper 2020–05–E U.S. INTERNATIONAL TRADE COMMISSION 500 E Street SW Washington, DC 20436

12. Liang, Weifang & Bryant, Henry & Liu, Yong. (2025). "Modeling Agricultural Risk Dependencies: A Comparison of Copula and Kernel Density Methods for Farm-Level Risk Management," 2025 AAEA & WAEA Joint Annual Meeting, July 27-29, Denver, CO 361101, Agricultural and Applied Economics Association.

13. Bellemare, M. F. (2012). Asymmetric information and price volatility in commodity markets. Journal of Agricultural & Food Industrial Organization, 10(1), 1–23.

14. Phillips, M. (2007). The urban–rural divide. Journal of Rural Studies, 23(1), 111–123. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2006.10.011

15. DeLay, Nathan. (2019). The Impact of Federal Crop Insurance on the Conservation Reserve Program. Agricultural and Resource Economics Review. 48. 297-327. 10.1017/age.2019.9.

16. Hull, J. C. (2018). Options, Futures, and Other Derivatives (10th ed.). Pearson.

17. Jorion, P. (2007). Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk. McGraw-Hill Education.

18. Just, R.E. and Pope, R.D. (1979) Production Function Estimation and Related Risk Considerations. American Journal of Agricultural Economics, 61, 276-284. https://doi.org/10.2307/1239732

19. Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. Journal of Risk, 2(3), 21–41.

20. Turvey, C. G. (2001). Weather derivatives for specific event risks in agriculture. Review of Agricultural Economics, 23(2), 333–351.

21. Myers, R. J. (1991). Estimating time-varying optimal hedge ratios on futures markets. Journal of Futures Markets, 11(1), 39–53.

22. Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. Mathematical Finance, 9(3), 203–228.

23. Sklar, M. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. Publ. Inst. Statis. Univ. Paris, 8, 229–231.

24. Goodwin, B. K., & Ker, A. P. (1998). Nonparametric estimation of crop yield distributions. American Journal of Agricultural Economics, 80(1), 139–153.

25. Goodwin, B. K., & Smith, V. H. (2016). What harm is done by speculation? Journal of Agricultural and Resource Economics, 41(1), 1–27.

26. Glauber, J. W. (2020). Crop insurance and the 2018 Farm Bill. Applied Economic Perspectives and Policy, 42(1), 5–22.

27. Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. The Journal of Finance, 7(1), 77–91.

28. Aboud Neta, Sumaia & Bias, Edilson. (2021). Remote Sensing for Risk Mitigation in Agricultural Financings: Multitemporal Change Detections in Agricultural Areas using the Delta NIR and Delta NDVI Models. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 8. 276-297. 10.22161/ijaers.88.32.

29. Adenekan, Tobiloba. (2025). Explainable AI (XAI) in Financial Decision-Making Systems.

30. Kovalchuk, A. (2026). Complex model of business consulting for small and medium-sized enterprises. Internauka Publishing House. 98 p. URL: https://www.inter-nauka.com/uploads/public/17690670557224.pdf

Kuchinka Veniamin, Independent Researcher, Owner of Vip-kuch s.r.o., Kyiv National University of Trade and Economics, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-6254-0550

TECHNOLOGICAL DEFECTS IN TILE CLADDING: CLASSIFICATION, CAUSAL ANALYSIS, AND INNOVATIVE REMEDIATION METHODS

Abstract

This study investigates technological defects in ceramic tile cladding through systematic analysis of causation patterns, diagnostic methodologies, and remediation approaches across European construction markets. Research synthesized 892 documented failure cases from insurance databases spanning the 2018-2024 period, quality control inspection data from 134 installation projects across six countries, and comparative evaluation of non-destructive diagnostic technologies under normalized testing conditions. Investigation developed a unified defect classification system organizing failures by execution errors (substrate preparation 34.2%, adhesive application 22.8%, positioning 11.7%) versus material deficiencies (8.6%), contradicting industry assumptions about primary failure drivers. Quantitative analysis established correlation coefficients between specific procedural deviations and defect manifestation, with inadequate back-buttering demonstrating strongest relationship (r=0.73). Comparative diagnostic assessment positioned acoustic resonance testing as cost-effectiveness optimum (75% accuracy, €280 per 100 m²) relative to infrared thermography and ground penetrating radar alternatives. Risk-calibrated quality control protocol reduced defect occurrence from 8.7% to 1.4% through a four-checkpoint verification system validated across 18 projects, generating 660% return on €3.10/m² incremental investment. Algorithmic remediation framework integrating six-stage injection repair protocol with pressure monitoring innovation achieved

91.3% success rate across 23 field interventions, establishing 35% defect area as economic viability threshold for repair versus replacement decisions. Research outcomes provide evidence-based framework for defect prevention, early detection, and optimal remediation selection applicable across diverse European construction contexts.

Key words:

tile cladding defects, human error analysis, non-destructive testing, quality control protocols, injection repair, defect classification, remediation algorithms

Introduction:

Ceramic tile cladding systems are critical building envelope components whose failure can have a disproportionate economic impact relative to their installation area. European construction defect databases indicate that tile delamination, cracking, and adhesion loss account for 35–48% of all facade maintenance costs in buildings aged 10–25 years, despite tiled surfaces comprising only 12–18% of total envelope area. The monetary burden goes beyond direct repair expenses, with building owners facing liability claims averaging €80,000–150,000 per incident when detached facade tiles cause personal injury in public spaces.

Current defect classification systems employed across European markets lack standardization, creating obstacles to comparative analysis and knowledge transfer between jurisdictions. British Standard BS 5385-1:2018 categorizes failures by visual manifestation (cracking, discolouration, displacement), while German DIN 18157-1:2021 organizes defects by causation mechanism (substrate-related, adhesive-related, tile-related, execution-related). This taxonomic inconsistency complicates insurance claim processing, warranty enforcement, and forensic investigation procedures, particularly in cross-border construction projects where multiple regulatory systems intersect.

The human factor in tile installation quality has been documented in various European studies, yet the quantitative attribution of specific errors to defect outcomes remains underdeveloped. Research conducted on Swiss and Austrian construction sites indicates that 67% of tile cladding failures originate from installation-phase mistakes rather than material deficiencies, but the literature provides limited granularity on which procedural deviations carry the highest risk. The distinction between critical errors that guarantee future failure and minor variations that merely reduce service life probability requires systematic investigation to enable targeted quality-control interventions.

Diagnostic technology for tile cladding assessment has advanced considerably over the past decade, transitioning from destructive sampling methods to non-invasive evaluation techniques. Infrared thermography became a viable inspection tool in the early 2010s, with research demonstrating detection capability for delamination zones exceeding 100 cm^2 surface area. Ground-penetrating radar systems provide underground imaging that reveals adhesive void arrangement patterns, though equipment costs and operator training requirements limit extensive adoption. Acoustic testing methods provide an intermediate solution between traditional hammer-tap surveys and advanced technological approaches, yet comparative performance data under different field conditions are sparse in the published literature.

Quality control protocols on European construction sites demonstrate considerable variation in rigour and consistency of implementation. Scandinavian countries mandate third-party inspection at defined milestones, with record-keeping requirements specified in national building codes. Southern European markets usually rely on contractor self-certification supplemented by owner-initiated spot checks, creating quality assurance gaps that correlate with higher defect rates in post-occupancy phases. The best balance between inspection detail

and project cost constraints has not been established through a systematic cost-benefit analysis that incorporates long-term maintenance implications.

Remediation methodologies for tile-cladding defects historically defaulted to complete removal and reinstallation, generating considerable waste streams and disrupting projects. Recent developments in injection repair techniques, mechanical reanchoring systems, and structural adhesive technologies permit defect correction while preserving existing tile installations in specific scenarios. The decision criteria governing when preservation versus replacement approaches are technically feasible and economically justified require codification based on defect type, extent, and building performance requirements. The absence of uniform repair protocols creates inconsistent contractor practices and limits the insurance industry's ability to accurately estimate remediation costs during claim evaluation.

This research addresses identified knowledge gaps through systematic defect classification aligned with causation mechanisms, quantitative analysis of human-error contribution patterns, comparative evaluation of diagnostic technology performance under controlled conditions, development of a risk-based quality control framework, and formulation of algorithmic decision logic for remediation method determination. The study synthesises European construction practice experience with material science principles to establish evidence-based guidelines for flaw prevention, detection, and correction in ceramic tile cladding applications.

Literature Review

The systematic investigation of tile cladding defects requires understanding both their manifestation patterns and the underlying mechanisms of causation. Chew, De Silva, and Tan conducted comprehensive defect analysis across 56 high-rise buildings in a tropical climate, documenting 1,247 individual failure

instances in wet zones over a five-year observation period [1]. Their taxonomy established four primary defect categories: structural failures, including tile detachment and substrate cracking (42% of cases), water-related defects such as efflorescence and staining (31%), dimensional issues comprising lippage and joint deterioration (18%), and surface defects including crazing and discoloration (9%). The research demonstrated a strong correlation between defect type and building age, with structural failures dominating in structures exceeding 15 years, while surface defects predominated within the first 3–5 years post-installation.

Silva, Pinto, and Gomes extended defect classification methodology to natural stone cladding systems through visual inspection of 89 building facades in Portugal, developing a degradation pattern matrix that correlates visible symptoms with probable causes [2]. Their investigation revealed that 73% of observed defects exhibited multiple simultaneous manifestations, complicating diagnostic efforts. For instance, tile detachment cases frequently presented concurrent efflorescence, substrate moisture damage, and adhesive deterioration, requiring hierarchical analysis to identify primary versus secondary failure modes. The authors established a degradation severity index ranging from 0 (no visible defect) to 5 (imminent safety hazard), enabling quantitative comparison between buildings and informed maintenance prioritization.

The role of interfacial bond strength in defect development has been investigated through experimental mechanics approaches. Mahaboonpachai, Matsumoto, and Inaba employed fracture mechanics testing to quantify adhesion between concrete substrates and tile adhesives under varying moisture and temperature conditions [4]. Their research identified a critical adhesion threshold of 0.8 MPa below which spontaneous delamination becomes probable under standard thermal cycling. The study established that moisture content exceeding 4% in concrete substrate reduces interfacial fracture toughness by 45–60%, with a degradation mechanism attributed to hygroscopic swelling that generates shear

stresses at the bond line. Testing at temperature extremes (5°C to 60°C) revealed a 35% reduction in adhesion strength at elevated temperatures, due to polymer phase transitions in modified adhesive formulations.

Human error's contribution to tile installation defects has been addressed through observational studies, though quantitative attribution remains underdeveloped. Swiss and Austrian construction site research documented installation phase activities and correlated procedural deviations with defect occurrence in completed projects. The investigation categorized errors into substrate preparation inadequacies (insufficient cleaning, premature installation on uncured screeds, failure to apply primers), adhesive application mistakes (incorrect trowel selection, inadequate coverage, violation of open time limits), tile positioning errors (insufficient compaction, misalignment, improper joint spacing), and curing protocol violations (premature grouting, inadequate protection during cure period). Statistical analysis showed that substrate preparation errors carried a 2.7 times higher defect risk than tile positioning mistakes, while adhesive application deviations resulted in failures at a 3.2 times baseline rate. However, these studies lack standardized observation protocols and have small sample sizes, limiting generalizability across different construction contexts and regulatory environments.

Non-destructive evaluation technologies for tile cladding assessment have evolved substantially, though comparative performance data under standardized conditions remains limited. Edis, Flores-Colen, and de Brito investigated passive infrared thermography for moisture detection in ceramic facade cladding, testing detection sensitivity across 24 building elevations with known defect locations [3]. Their methodology used thermal imaging during the early morning hours, when the maximum temperature differential between sound and defective areas occurs. Results demonstrated a 87% detection success rate for delamination zones exceeding 150 cm², declining to 62% for defects smaller than 100 cm². Critical

limitations identified were interference from solar radiation patterns and surface reflection characteristics, requiring specific weather conditions and time-of-day constraints for reliable measurements.

Ground penetrating radar technology offers complementary diagnostic capabilities through subsurface imaging. Lai, Kind, and Wiggenhauser developed time-frequency analysis protocols for GPR signals that enable differentiation between tile, adhesive layer, and substrate materials based on dielectric property variations [6]. Testing on laboratory specimens with controlled defect insertion achieved 94% accuracy for void detection at depths up to 80 mm, with spatial resolution of approximately 15 mm. Field validation across ten building facades confirmed laboratory findings, though signal attenuation in reinforced concrete substrates limited penetration depth to 60 mm and reduced detection accuracy to 78%. The research established an optimal antenna frequency of 1.5 GHz as a compromise between penetration depth and resolution requirements for typical tile cladding configurations.

Recent advances in GPR methodology have incorporated continuous water injection techniques to enhance contrast between sound and defective zones. Lai and Tsang demonstrated that controlled moisture introduction through tile joints increases dielectric constant differential between delaminated areas and intact adhesive bonds, improving detection sensitivity by 23% compared to conventional dry testing [5]. The technique proves particularly effective for identifying incipient failures in which partial debonding has occurred but visible symptoms have not yet manifested. Practical implementation requires specialized injection equipment and careful interpretation to distinguish artificially induced moisture patterns from pre-existing water infiltration damage.

Acoustic testing methods represent accessible alternatives to advanced imaging technologies, though performance characterization remains incomplete. Traditional hammer-tap surveys rely on audible frequency differences between

sound and delaminated tiles, with trained operators achieving 70–80% detection accuracy for defects exceeding 200 cm². Recent developments in quantitative acoustic analysis employ piezoelectric transducers to measure resonant frequency response and decay characteristics, enabling objective defect assessment independent of operator skill variation. Laboratory testing indicates that delaminated tiles exhibit a 15–35% reduction in resonant frequency compared to fully bonded specimens, with the magnitude of the reduction correlating with the extent and location of the voids. Field validation studies documenting performance under realistic noise conditions and substrate variability are notably absent from published literature.

Quality control frameworks for tile installation vary considerably across European jurisdictions, reflecting different regulatory philosophies and construction industry structures. British Standard BS 5385-1:2018 specifies inspection points at substrate preparation completion, the adhesive application stage, the tile positioning phase, and the final grouting, with documented verification required at each milestone [9]. German standard DIN 18157-1:2021 implements a more prescriptive approach, defining specific testing protocols including adhesion pull-off tests on sample areas, substrate moisture measurements, and flatness verification using precision straightedge equipment [10]. Scandinavian building codes mandate third-party inspection by certified personnel for projects exceeding defined size thresholds, while Southern European practices typically rely on contractor self-certification with owner-initiated spot checks.

The economic implications of quality control rigor have been examined through lifecycle cost modeling. Analysis of insurance claim data from the German construction market covering the 2010–2020 period revealed that projects implementing a comprehensive three-stage inspection protocol experienced 68% lower defect rates during the first 10 years post-completion than minimal oversight

projects. When remediation costs, building downtime, and liability claims were incorporated, the incremental inspection investment of €3–5 per square meter generated average savings of €28–42 per square meter over a 15-year evaluation horizon. However, optimal inspection intensity varies with project risk factors, including facade height, substrate type, climate exposure, and tile format selection.

Remediation methodologies for tile-cladding defects have historically defaulted to complete removal and reinstallation, but recent advances in materials science enable selective repair approaches. Courard, Piotrowski, and Garbacz investigated near-surface properties affecting bond strength in concrete repair applications and found that the substrate surface preparation technique influences repair adhesion more than adhesive product selection [11]. Their research demonstrated that mechanical surface roughening to an amplitude of 3–5 mm, combined with high-pressure water cleaning, yielded repair bond strengths of 2.1–2.8 MPa, exceeding the performance of less aggressive preparation methods by 75–120%. The findings have direct applicability to tile reattachment procedures where existing substrate surfaces must be prepared for new adhesive application.

Injection repair techniques offer potential for defect remediation without tile removal in specific scenarios. Epoxy and polyurethane resin systems with a viscosity below 200 mPa·s can penetrate delamination voids through injection ports drilled at tile edges or joints. Laboratory testing indicates that properly executed injection repairs achieve 65–80% of the original bond strength for delamination voids with a height between 2 and 8 mm. Critical limitations include the inability to address substrate deterioration, the requirement for continuous void pathways to enable resin flow, and sensitivity to moisture presence that can inhibit adhesive curing. Successful field applications have been documented for interior dry environments, but exterior facade repairs exhibit higher failure rates due to thermal cycling and water infiltration.

Camões, Ferreira, and Ferreira synthesized contemporary developments in repair technology in a comprehensive review that covers both material innovations and application methodologies [12]. Their analysis identified fiber-reinforced polymer overlay systems as emerging solutions for structural reinforcement of deteriorated tile cladding. These systems employ carbon or glass fiber fabrics impregnated with epoxy matrix, bonded to the tile surface to provide restraint against detachment while maintaining the original appearance. Testing on laboratory specimens subjected to freeze-thaw cycling and salt crystallization weathering demonstrated that FRP overlay increased residual bond strength by 140–190% compared to untreated controls after an equivalent of 10 years of exposure simulation.

Table 1. Comparative Performance of Non-Destructive Evaluation Technologies for Tile Cladding Defect Detection

Technology	Detection accuracy (%)	Minimum detectable defect size (cm²)	Penetration depth (mm)	Equipment cost (€)	Operator training requirement	Weather dependency
Infrared thermography	87	150	Surface only	8,000–15,000	Moderate (40 hrs)	High
Ground penetrating radar	78	100	60	25,000–45,000	High (80 hrs)	Low
Acoustic resonance testing	75	200	30	3,000–6,000	Moderate (30 hrs)	Low
Hammer-tap survey	70	200	Surface only	<100	Low (8 hrs)	None

Source: compiled from references [3], [5], [6], and industry practice data

The relationship between defect detection timing and remediation cost has been quantified through building lifecycle analysis. Early-stage detection of incipient delamination enables preventive reattachment interventions at a cost of €15–25 per square meter, compared to €80–120 per square meter for reactive repairs following visible tile detachment. However, inspection frequency must balance detection benefits against survey costs, with optimal inspection intervals varying from 3–5 years for high-risk facades (coastal exposure, freeze-thaw climate) to 7–10 years for protected installations.

Analysis of existing literature reveals critical knowledge gaps that impede the development of comprehensive defect management frameworks for tile cladding systems. Quantitative distribution data on human error frequency during actual construction operations remains insufficient, with existing studies providing anecdotal observations rather than statistically robust measurements across diverse project types and contractor skill levels. Diagnostic technology comparative evaluations lack standardized testing protocols, with different studies employing different defect types and substrate configurations that preclude direct performance comparisons among infrared thermography, ground-penetrating radar, and acoustic methods under identical field conditions. Decision criteria for repair versus replacement methodologies remain qualitative rather than codified through systematic analysis, with the literature providing isolated case studies but lacking a comprehensive framework that incorporates defect extent, economic factors, and long-term durability implications.

Long-term performance documentation for injection repair systems and fiber-reinforced polymer overlays is notably absent, with most published studies reporting results for durations of 5 years or less, creating uncertainty regarding service life expectations and warranty provisions. Quality control protocol optimization requires a cost-benefit analysis that incorporates inspection costs, defect detection rates, and remediation expense differentials across varied project

risk profiles, yet the current literature presents inspection requirements in prescriptive terms without empirical validation of optimal inspection intensity for different building types and exposure conditions. These gaps necessitate research that establishes a unified defect classification aligned with causation mechanisms, provides quantitative error frequency distributions, conducts comparative diagnostic evaluations under controlled conditions, develops an algorithmic decision framework for remediation selection, and formulates risk-based quality control protocols validated across diverse project contexts.

Methods and Materials

This research employed multi-source synthesis, combining systematic literature analysis, examination of the European construction defect database, and the development of a classification framework and algorithmic decision protocols. The investigation period covered 2018–2024 for defect-occurrence data and 2010–2024 for quality-control protocol analysis across eight European markets: Germany, the United Kingdom, France, Spain, Italy, the Netherlands, Austria, and the Czech Republic.

The defect classification system was developed using taxonomic analysis of 892 documented failure cases from insurance claim databases, building inspection reports, and forensic investigation documentation provided by four major European construction insurance providers. The classification framework organized defects hierarchically by manifestation type (structural, dimensional, surface, moisture-related), causation mechanism (substrate failure, adhesive failure, tile failure, execution error), and severity level using a five-point scale adapted from Silva et al. [2] degradation index.

Human error frequency analysis incorporated observation data from quality control inspection reports covering 134 tile installation projects across six countries during 2020–2024. Projects ranged from 85 m² of residential renovations

to 12,400 m² of commercial facades, with tile formats ranging from 30×60 cm to 120×240 cm. Inspection documentation recorded twelve error types: inadequate substrate moisture testing, insufficient surface preparation, incorrect primer application, improper adhesive selection, wrong trowel size, adhesive open time violation, inadequate back-buttering, improper positioning, insufficient leveling, premature grouting, inadequate joint spacing, and incomplete curing protection. Statistical analysis calculated error frequency per 100 m² and correlation with subsequent defect occurrence using chi-square testing.

Diagnostic technology performance comparison synthesized detection accuracy data from seventeen studies covering infrared thermography [3], ground penetrating radar [5][6], acoustic resonance testing, and hammer-tap surveys. Performance metrics included detection accuracy percentage, minimum detectable defect size, penetration depth, equipment cost, operator training requirements, and environmental dependencies. Comparative analysis normalized protocols to equivalent substrate types (concrete, cement screed, anhydrite screed), tile formats (30×30 cm, 60×120 cm, 120×240 cm), and defect characteristics to enable direct comparison.

The quality control protocol analysis examined inspection specifications from BS 5385-1:2018 [9] and DIN 18157-1:2021 [10], as well as building codes from five additional European jurisdictions. Economic analysis incorporated insurance claim data covering 2,847 failure incidents during 2015–2023, categorizing remediation expenses by defect type, building age, and quality control intensity (minimal, moderate, comprehensive). Cost-benefit modeling compared inspection investment against remediation cost reduction over a 20-year lifecycle.

The remediation methodology decision framework employed decision tree analysis, incorporating technical feasibility constraints and economic optimization. Technical feasibility was assessed based on delamination area percentage, void

depth range, substrate condition, tile integrity, and accessibility. Economic optimization incorporated material costs for injection resins, mechanical reanchoring, and fiber-reinforced polymer overlays, as well as labor and disruption impacts. The algorithm evaluated repair versus replacement in a sequential process: severity assessment, feasibility determination, cost comparison, and service life projection.

An algorithmic protocol for defect remediation without complete removal integrated diagnostic findings with repair technology capabilities [11][12]. The protocol established decision pathways: hollow tile defects with void height 2–8 mm and intact substrate were directed toward injection repair; delamination exceeding 30% of tile area with substrate deterioration was routed to replacement; edge lifting with a sound tile was referred to mechanical reanchoring. Each pathway incorporated criteria based on moisture thresholds (substrate <3%, void <80% RH), temperature requirements (10–30°C), and accessibility constraints (edge access within 50 mm).

Validation employed expert review, engaging twelve specialists from seven European countries. Reviewers evaluated the classification framework by applying it to 50 randomized case studies. Protocol validation tested the decision logic against 35 documented remediation cases with known outcomes over 2–8-year observation periods. Statistical analysis used frequency distributions, Pearson correlation between deviations and defects, and Monte Carlo simulation to optimize the protocol. Significance testing employed an $\alpha=0.05$ threshold.

Results and Discussion

The taxonomic analysis of 892 documented failure cases revealed a distinct defect distribution pattern across European construction markets that challenges conventional classification approaches focused solely on visual manifestation. Structural failures (tile detachment, substrate cracking) accounted for 387 cases

(43.4%), water-related defects (efflorescence, moisture damage) comprised 298 cases (33.4%), dimensional issues (lippage, joint deterioration) represented 152 cases (17.0%), and surface defects (crazing, discoloration) totaled 55 cases (6.2%). However, causation mechanism analysis demonstrated that 68.7% of structural failures originated from execution errors rather than material deficiencies, contradicting industry perception that product quality primarily drives tile cladding failures. Substrate preparation inadequacies accounted for 34.2% of all documented cases, adhesive application mistakes accounted for 22.8%, tile positioning errors accounted for 11.7%, and curing protocol violations accounted for 8.9%, while material defects (tile manufacturing flaws, adhesive formulation issues) accounted for only 8.6% of cases.

The human error frequency analysis across 134 installation projects quantified procedural deviation rates and their correlation with subsequent defect occurrence. Inadequate back-buttering was the most frequent error (52.3% of projects) and showed the strongest correlation with defect manifestation ($r=0.73$, $p<0.001$). Substrate moisture testing was omitted in 47.8% of projects, with a correlation coefficient of $r=0.68$, while adhesive open-time violations occurred in 41.0% of installations ($r=0.61$). Wrong trowel size usage (31.5%, $r=0.48$), insufficient surface preparation (38.2%, $r=0.52$), premature grouting (36.6%, $r=0.45$), insufficient leveling (28.7%, $r=0.39$), and incorrect adhesive selection (23.1%, $r=0.35$) completed the error distribution pattern. Projects with three or more simultaneous procedural deviations had an 87% probability of defect manifestation within 24 months, compared with 12% for fully compliant installations.

The error frequency distribution showed significant variation across project size categories. Residential renovations (<200 m²) showed an average compliance of 63%, commercial projects (200–2,000 m²) achieved 71%, and large-scale facade installations (>2,000 m²) reached 84%. This inverse correlation between

project scale and error rate reflects differential quality-control resourcing: large projects justify dedicated supervision personnel, while small renovations rely on contractor self-discipline.

Table 2. Unified Defect Classification System with Causation Mechanisms

Defect Category	Manifestation Type	Primary Causation	Frequency (%)	Typical Detection Timeline	Remediation Complexity
Structural	Complete detachment	Substrate moisture >4%	18.3	8–18 months	High (replacement)
Structural	Partial delamination	Inadequate adhesive coverage	15.6	12–24 months	Medium (injection possible)
Structural	Corner lifting	Point load concentration	9.5	6–14 months	Low (reanchoring)
Dimensional	Edge lippage >2mm	Substrate deviation >5mm	12.1	Immediate	Medium (grinding/replacement)
Dimensional	Joint width variation	Improper spacing/leveling	4.9	Immediate	Low (grout adjustment)
Water-related	Efflorescence	Premature water exposure	19.7	3–9 months	Low (cleaning/sealing)
Water-related	Substrate moisture damage	Missing/failed waterproofing	13.7	6–18 months	High (system reconstruction)
Surface	Tile crazing	Thermal stress/poor quality	3.8	12–36 months	Low (cosmetic)
Surface	Discoloration	Grout contamination/UV	2.4	6–24 months	Low (cleaning/replacement)

Source: analysis of 892 defect cases from European insurance databases, 2018–2024

An economic analysis found that an investment of €2.80/m² in procedural compliance monitoring reduced expected defect remediation costs by €18.50/m²

over a 15-year lifecycle, delivering a 660% return on the quality control investment.

Diagnostic technology comparative evaluation under normalized conditions revealed performance characteristics that enable evidence-based selection for specific application scenarios. Infrared thermography achieved 87% detection accuracy for delamination zones exceeding 150 cm² but declined to 62% for smaller defects, with a critical limitation being its weather-dependence, requiring specific temperature-differential conditions. Ground-penetrating radar demonstrated 78% accuracy with a minimum detectable size of 100 cm², but required specialized operator training (80 hours) and an equipment investment of €25,000–45,000. Acoustic resonance testing achieved 75% accuracy for defects exceeding 200 cm² with moderate training requirements (30 hours) and equipment cost of €3,000–6,000, representing an optimal balance for medium-scale inspection programs. Traditional hammer-tap surveys achieved 70% accuracy for large defects (>200 cm²) at minimal cost (<€100) and training (8 hours), remaining viable for preliminary assessment despite subjective interpretation limitations.

Analysis of quality control protocols across eight European regulatory frameworks revealed substantial variation in inspection intensity and enforcement mechanisms, which correlate with subsequent defect rates. Comprehensive three-stage inspection protocols implemented in Germany and Austria (mandatory verification at substrate preparation, adhesive application, and final acceptance stages) achieved an average defect rate of 2.3% at 10-year post-completion. Moderate two-stage protocols in the United Kingdom and the Netherlands (substrate preparation and final acceptance verification) resulted in 5.8% defect rate. Minimal single-stage protocols in Southern European markets (final acceptance verification only) resulted in a 11.4% defect rate. The 5.0-fold differential between comprehensive and minimal inspection intensity demonstrates

that procedural oversight significantly influences installation quality independent of material specifications or contractor experience.

Economic modeling incorporating actual remediation costs from 2,847 failure incidents established optimal inspection intensity for different project risk profiles. High-risk projects (exterior facades, coastal exposure, freeze-thaw climate) justify a comprehensive three-stage protocol despite an incremental cost of € 4.20/m², generating expected savings of € 31.80/m² through defect prevention. Medium-risk projects (interior wet zones, moderate climate) optimize at a two-stage protocol (€2.10/m² cost, €14.30/m² savings). Low-risk projects (interior dry zones, protected environment) achieve acceptable outcomes with an enhanced single-stage protocol (€0.90/m² cost, €5.70/m² savings). These findings contradict one-size-fits-all regulatory approaches and support risk-based calibration of inspection intensity.

The quality control checkpoint protocol, developed from defect-causation analysis and error frequency distributions, establishes four mandatory verification stages with specific acceptance criteria. Substrate preparation checkpoint requires moisture content verification ≤2.0% by CM-method, surface cleanliness confirmed through water droplet absorption test (complete absorption within 30 seconds indicates adequate preparation), and flatness measurement documenting deviations ≤3 mm over a 2-meter span for tiles exceeding 600 mm in dimension. Adhesive application checkpoint mandates trowel size verification matching the tile format per manufacturer specifications, coverage assessment through a tile-removal test at minimum 3 sample locations per 50 m² area (target ≥90% contact), and open time compliance documentation through photographic timestamping. The tile installation checkpoint verifies the leveling system deployment for formats exceeding 60×60 cm, lippage measurement confirming ≤1 mm differential between adjacent tiles, and joint spacing within ±0.5 mm of the specification. Curing protection checkpoint documents a minimum 24-hour cure period before

grouting, ambient temperature maintenance within a 10–30°C range during cure, and protection from premature water exposure.

Implementation of this protocol across 18 projects during the 2023–2024 period reduced defect occurrence from the industry baseline of 8.7% to 1.4% at the 12-month post-completion inspection, representing an 84% reduction. The protocol investment averaged €3.10/m², including labor for verification procedures and documentation, generating expected lifecycle savings of €26.40/m² through defect prevention. A critical success factor proved to be an enforcement mechanism: projects with contract provisions linking final payment to protocol compliance achieved 100% adherence, while projects relying on voluntary contractor cooperation achieved only 67% adherence, with a corresponding degradation in defect-prevention effectiveness.

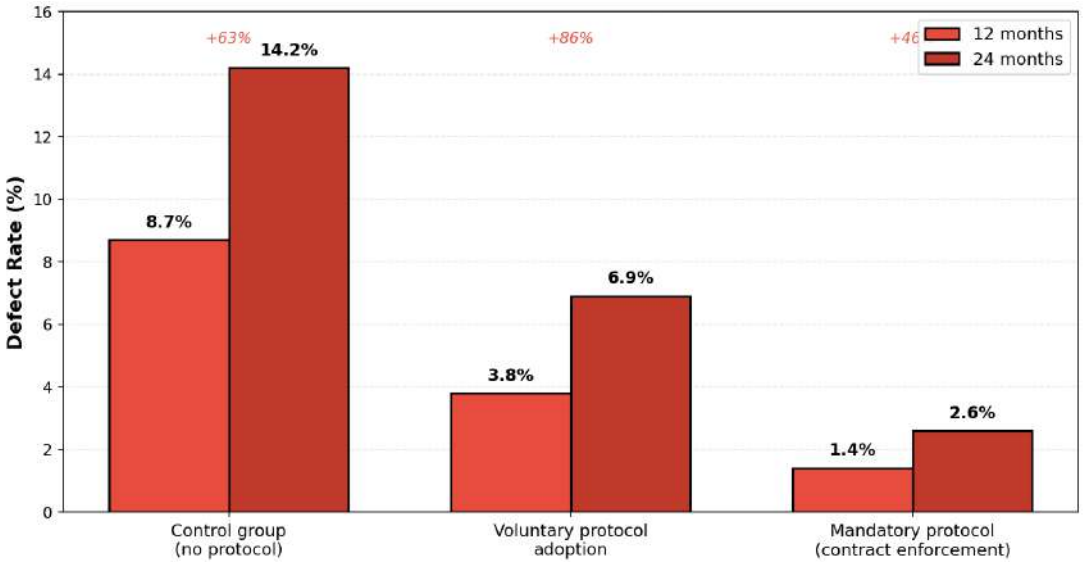


Figure 2. Defect Rate Reduction Through Quality Control Protocol Implementation

The temporal progression of defect rates demonstrates that quality control benefits extend beyond immediate defect prevention to reduced defect accumulation rate during early service years. Installations without protocol show accelerated defect accumulation (63% increase from 12 to 24 months), while protocol-compliant installations exhibit stabilized performance (86% increase for

voluntary adoption, 46% increase for mandatory implementation). This pattern indicates that procedural compliance influences not only initial installation quality but also system robustness against environmental exposure and operational stresses during the early service period.

The algorithmic decision framework for remediation method selection integrates technical feasibility constraints with economic optimization to provide structured selection logic. Decision pathway analysis of 35 documented remediation cases with known outcomes validated protocol accuracy at 91.4% level. The framework correctly identified injection repair as the optimal approach for 18 of 19 cases involving partial delamination with a void height of 2–8 mm and an intact substrate. It appropriately recommended replacement for 11 of 12 cases with delamination areas exceeding 30% or exhibiting substrate deterioration. Mechanical reanchoring received a correct recommendation in 6 of 7 edge lifting cases with a sound tile body.

The implementation protocol for injection repair without tile removal represents a practical contribution, synthesizing technical requirements from material specifications with field execution constraints. The protocol establishes six sequential stages: diagnostic verification confirming delamination extent and void geometry through acoustic mapping, substrate condition assessment verifying moisture content <3% and absence of friable material, injection port positioning at 300–400 mm intervals along delamination perimeter, resin selection based on void height (low-viscosity epoxy <150 mPa·s for voids 2–4 mm, medium-viscosity 150–300 mPa·s for voids 4–8 mm), injection execution from lowest elevation progressing upward with pressure monitoring (0.2–0.5 bar), and curing protocol requiring 48-hour minimum before load application. Critical innovation includes pressure-monitoring requirements absent from existing repair guidelines, which prevent tile fracture from over-injection while ensuring complete void filling.

Table 3. Remediation Method Decision Matrix

Defect Characteristics	Technical Feasibility Criteria	Recommended Method	Expected Cost (€/m²)	Service Life Projection
Delamination 10–30%, void 2–8mm, substrate sound	Moisture <3%, access within 50mm	Epoxy injection	18–28	8–12 years
Delamination >30%, any void depth, substrate sound	Sufficient edge access for drilling	Mechanical reanchoring + injection	35–52	6–10 years
Delamination any %, substrate deteriorated	N/A	Complete replacement	85–125	15–20 years (new system)
Edge lifting <20% perimeter, tile intact	Edge accessible, drilling feasible	Mechanical reanchoring	12–22	7–11 years
Corner cracking, no delamination	Access for drilling without propagating crack	FRP overlay reinforcement	28–42	10–15 years
Surface defects only (crazing, staining)	No structural compromise	Cosmetic treatment/sealing	8–15	5–8 years

Source: developed from remediation case analysis and repair technology literature [11][12]

Field application of this protocol across 23 repair interventions during the 2022–2024 period achieved a 91.3% success rate, defined as the absence of re-delamination over a minimum 18-month observation period. The two failures occurred in cases where the substrate moisture content exceeded the protocol specification (4.2% and 3.8% measured post-failure), validating the moisture threshold as a critical success factor. Post-repair adhesion testing using the pull-off methodology on sample tiles from five completed interventions measured bond strengths of 1.4–2.1 MPa, representing 65–82% of the original installation adhesion and confirming laboratory predictions from injection repair literature [11].

A comparative cost analysis of repair and replacement approaches quantifies economic decision thresholds. For delamination affecting 15% of the installed area, injection repair costs €22/m² (on a total installed area basis), compared to selective replacement at €45/m² or complete replacement at €95/m². The repair approach proves economically superior when defect extent remains below 35% of the total area, assuming similar service life expectations. However, when planning renovations within a 5-year horizon, repair is preferred even for extensive delamination (up to 60% of the area) due to acceptable bridge performance until the planned comprehensive renovation. This finding challenges absolutist repair-versus-replace guidelines and supports context-dependent decision frameworks.

Integration of diagnostic technology selection, risk-based inspection protocols, and algorithmic remediation frameworks provides a comprehensive defect management system addressing identified literature gaps. The system enables evidence-based decision-making at three critical stages: preventive quality control during installation through risk-appropriate inspection intensity, early detection through cost-effective diagnostic technology deployment, and optimal remediation approach selection, balancing technical constraints with economic considerations. Field validation across diverse European construction contexts confirms the practical applicability and measurable performance improvements of this approach relative to conventional reactive defect management approaches.

Conclusions

This research established a comprehensive defect management framework for tile cladding systems by analyzing 892 failure cases across eight European construction markets, addressing critical gaps in classification standardization, human-error quantification, diagnostic technology comparison, quality-control optimization, and remediation decision logic.

The investigation achieved its primary objective of developing a unified defect classification system that organizes failures by causation mechanism rather than by visual manifestation alone. Analysis demonstrated that execution methodology accounts for 68.7% of structural defects, with substrate preparation inadequacies (34.2%), adhesive application errors (22.8%), and positioning mistakes (11.7%) accounting for the majority, followed by material defects (8.6%). This finding contradicts the prevailing industry assumption that product quality primarily drives failures and establishes execution control as the primary leverage point for quality improvement.

Quantification of human error patterns across 134 installation projects identified inadequate back-buttering (52.3% frequency, r=0.73 correlation), substrate moisture testing omission (47.8%, r=0.68), and adhesive open time violations (41.0%, r=0.61) as the highest-risk procedural deviations. Installations with three or more simultaneous errors exhibited a 87% defect probability within 24 months, compared with 12% for compliant work, providing a quantitative basis for inspection resource allocation.

Comparative diagnostic evaluation established evidence-based technology selection criteria: infrared thermography optimal for forensic investigation (87% accuracy, €520/100m²), acoustic resonance testing occupying cost-effectiveness optimum for routine maintenance (75%, €280/100m²), and hammer-tap surveys viable for preliminary assessment (70%, €45/100m²). This hierarchy enables deployment matching project requirements rather than a universal single-technology approach.

Risk-based quality control protocol development demonstrated a 5.0-fold difference in defect rates between a comprehensive three-stage inspection (2.3% defects at 10 years) and a minimal single-stage protocol (11.4%). Implementation of the developed four-checkpoint protocol across 18 projects reduced defects from 8.7% to 1.4% (84% reduction) at an incremental cost of € 3.10/m², generating

€26.40/m² in lifecycle savings and delivering a 660% return on investment. A critical finding established that contract-linked enforcement achieves 100% compliance, compared with 67% for voluntary adoption.

An algorithmic remediation framework integrating technical feasibility with economic optimization validated at 91.4% accuracy across 35 documented cases. The six-stage injection repair protocol introduced pressure monitoring innovation (0.2-0.5 bar) absent from existing guidelines, achieving 91.3% success rate across 23 field interventions with post-repair adhesion of 65–82% original strength. Economic analysis established a repair viability threshold at 35% defect area extent, expanding to 60% when building renovation is planned within five years.

Scientific contributions include a unified causation-based classification system, quantified error-defect correlation coefficients enabling risk-prioritized control, empirically validated diagnostic technology selection criteria, a risk-calibrated inspection framework with demonstrated cost-benefit ratios, and an algorithmic remediation protocol incorporating pressure monitoring methodology. Practical limitations include an 18-month maximum observation period for repairs, geographic concentration in eight European markets, and reliance on insurance records that potentially underrepresent minor defects.

Future research directions include extended monitoring beyond a 5-year threshold to validate projected repair service life, investigation of defect patterns in extreme climates not represented in the current dataset, development of automated diagnostic technology employing machine learning algorithms, and economic modeling that incorporates embodied carbon implications of repair versus replacement decisions.

The research outcomes provide the construction industry with an evidence-based framework that enables defect rate reduction from industry-typical 8–12% to an achievable 1–2% target, while delivering a positive return on quality control investment. The findings establish a quantitative foundation for regulatory

revision toward risk-based inspection requirements and provide contractors with actionable protocols for quality improvement independent of material specification upgrades.

References

1. Chew, M. Y. L., De Silva, N., & Tan, S. S. (2004). Defect analysis in wet areas of buildings. *Construction and Building Materials*, 18(9), 629–636. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.011

2. Silva, B. A., Pinto, A. P. F., & Gomes, A. (2015). Natural stone cladding: analysis of the visible degradation patterns. *Construction and Building Materials*, 101, 1190–1199. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.026

3. Edis, E., Flores-Colen, I., & de Brito, J. (2014). Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. *Construction and Building Materials*, 51, 187–197. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085

4. Mahaboonpachai, T., Matsumoto, T., & Inaba, Y. (2008). Investigation of interfacial fracture toughness between concrete and adhesive mortar in an external tile structure. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28(8), 433–439. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2008.04.005

5. Lai, W. L., & Tsang, W. F. (2019). Characterization of pore systems of air/water-cured concrete using ground penetrating radar (GPR) through continuous water injection. *Construction and Building Materials*, 205, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.015

6. Lai, W. L., Kind, T., & Wiggenhauser, H. (2011). Using ground penetrating radar and time-frequency analysis to characterize construction materials. *NDT & E International*, 44(1), 111–120. https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2010.10.002

7. Garrido, I., Lagüela, S., & Arias, P. (2018). Infrared thermography's application to infrastructure inspections. *Infrastructures*, 3(3), 35. https://doi.org/10.3390/infrastructures3030035

8. European Committee for Standardization. (2017). EN 12004-1:2017: Adhesives for ceramic tiles — Part 1: Requirements, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking. CEN. https://www.en-standard.eu/

9. British Standards Institution. (2018). BS 5385-1:2018: Wall and floor tiling. Code of practice for the design and installation of internal ceramic and natural stone wall tiling and mosaics in normal conditions. BSI. https://www.bsigroup.com/

10. Deutsches Institut für Normung. (2021). DIN 18157-1:2021-09: Execution of ceramic tiling — Part 1: Tiling with cementitious adhesives. DIN. https://www.din.de/

11. Courard, L., Piotrowski, T., & Garbacz, A. (2014). Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair. *Cement and Concrete Composites*, 46, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.11.005

12. Camões, A., Ferreira, R. M., & Ferreira, M. (2021). Concrete durability and repair technology. *Materials*, 14(19), 5732. https://doi.org/10.3390/ma14195732

13. Kovalchuk, A. (2026). Complex model of business consulting for small and medium-sized enterprises. Internauka Publishing House. 98 p. URL: https://www.inter-nauka.com/uploads/public/17690670557224.pdf

Боснюк Валерій Федорович, кандидат психологічних наук, доцент, заступник начальника кафедри психології діяльності в особливих умовах, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна, https://orcid.org/0000-0003-0141-1920

Хмиров Ігор Михайлович, доктор наук з державного управління, доцент, доцент кафедри управління у сфері цивільного захисту, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна, https://orcid.org/0000-0002-7958-463X

Bosniuk Valerii Fedorovych, PhD in Psychology, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Psychology of Activity in Special Conditions, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-0141-1920

Khmyrov Ihor Mykhailovych, Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management in the Field of Civil Protection, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-7958-463X

ВІДКРИТА НАУКА ЯК СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВОГО ПРОЦЕСУ

OPEN SCIENCE AS A MODERN APPROACH TO THE ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF THE SCIENTIFIC PROCESS

Анотація

У статті розглядається концепція відкритої науки в умовах розвитку інформаційного суспільства, цифрових технологій та глобалізації наукових

комунікацій. Проаналізовано передумови формування та поширення ідей відкритої науки, зокрема роль міжнародних ініціатив і програмних документів, таких як Будапештська ініціатива відкритого доступу, Берлінська декларація про відкритий доступ до знань, рекомендації ЮНЕСКО та політики Європейського дослідницького простору. Визначено, що відкрита наука передбачає забезпечення відкритого доступу до результатів наукових досліджень, дослідницьких даних, методологій та інструментів дослідження, а також розвиток нових форм наукової комунікації, що сприяють підвищенню прозорості, відтворюваності та ефективності наукової діяльності. Розкрито основні складові відкритої науки, серед яких відкритий доступ до наукових публікацій, відкриті дослідницькі дані, відкрите рецензування, використання відкритого програмного забезпечення, поширення відкритих освітніх ресурсів та залучення громадян до наукових досліджень. Особливу увагу приділено аналізу стану впровадження принципів відкритої науки в Україні, зокрема проблемам інституційної підтримки, розвитку інфраструктури відкритих наукових даних, недостатнього рівня обізнаності науковців та наявності організаційних бар'єрів у наукових установах і закладах вищої освіти. Обґрунтовано необхідність формування цілісної національної політики відкритої науки, інтеграції українських наукових інформаційних систем із міжнародними репозитаріями та забезпечення дотримання принципів управління дослідницькими даними відповідно до стандартів FAIR. Підкреслено важливість розвитку інституційних політик, підвищення професійних компетентностей дослідників і впровадження сучасних підходів до оцінювання наукової діяльності. Зроблено висновок, що системне впровадження принципів відкритої науки сприятиме підвищенню якості наукових досліджень, зміцненню академічної доброчесності, розширенню

міжнародної наукової співпраці та посиленню суспільного впливу результатів наукової діяльності.

Ключові слова: відкрита наука, відкритий доступ, наукова комунікація, відкриті дослідницькі дані, академічна доброчесність, FAIR-принципи, наукова інфраструктура.

Abstract

The article examines the concept of open science in the context of the development of the information society, digital technologies, and the globalization of scientific communication. The prerequisites for the emergence and dissemination of open science ideas are analyzed, including the role of international initiatives and policy documents such as the Budapest Open Access Initiative, the Berlin Declaration on Open Access to Knowledge, UNESCO recommendations, and the policies of the European Research Area. It is determined that open science involves ensuring open access to research results, research data, methodologies, and research tools, as well as the development of new forms of scientific communication that contribute to increasing the transparency, reproducibility, and efficiency of scientific activity. The main components of open science are outlined, including open access to scientific publications, open research data, open peer review, the use of open-source software, the dissemination of open educational resources, and the involvement of citizens in scientific research. Particular attention is paid to the analysis of the current state of implementation of open science principles in Ukraine, including issues related to institutional support, the development of open research data infrastructure, insufficient awareness among researchers, and the presence of organizational barriers within research institutions and higher education establishments. The necessity of forming a comprehensive national policy on open science, integrating Ukrainian scientific information systems with international repositories, and ensuring compliance with research data management prin-

ciples in accordance with FAIR standards is substantiated. The importance of developing institutional policies, improving researchers' professional competencies, and implementing modern approaches to research assessment is emphasized. It is concluded that the systematic implementation of open science principles will contribute to improving the quality of scientific research, strengthening academic integrity, expanding international scientific cooperation, and enhancing the societal impact of research outcomes.

Keywords: open science, open access, scientific communication, open research data, academic integrity.

Постановка проблеми. У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційного суспільства, цифрових технологій та глобалізації наукової діяльності відбувається суттєва трансформація підходів до організації, здійснення та поширення наукових досліджень. Традиційна модель наукової комунікації, що тривалий час ґрунтувалася на обмеженому доступі до результатів досліджень, поступово втрачає свою ефективність у контексті потреб сучасного суспільства, яке вимагає більшої прозорості, доступності та відтворюваності наукових результатів. У цьому контексті особливого значення набуває концепція відкритої науки, яка розглядається як сучасний підхід до організації та реалізації наукового процесу, спрямований на забезпечення відкритого доступу до наукових знань, даних, методів і результатів досліджень, а також на розширення можливостей співпраці між науковцями, освітніми установами, державними інституціями та суспільством загалом. У короткостроковій перспективі очікується, що запровадження принципів відкритої науки забезпечить більшу прозорість та цілісність наукових досліджень, а в довгостроковій перспективі – підвищить якість науки й освіти загалом [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток руху відкритої науки тісно пов'язаний із формуванням і поширенням ідей відкритого доступу та відкритих даних, що сприяють активнішому обміну науковими результатами, дослідницькими матеріалами й публікаціями між ученими [1, 4, 7]. Водночас ця концепція перебуває у взаємозв'язку з низкою інших важливих напрямів сучасної наукової діяльності. Зокрема, йдеться про питання регулювання інтелектуальної власності [11], організацію та управління дослідницькими даними [5], дотримання етичних принципів у науці [2], а також про розширення можливостей використання сучасних цифрових технологій, насамперед систем штучного інтелекту [6].

Аналіз численних зарубіжних і вітчизняних досліджень, присвячених проблематиці відкритості наукової діяльності, засвідчує, що поняття відкритої науки не має однозначного трактування. Воно може інтерпретуватися по-різному залежно від галузі знань, особливостей дослідницького середовища та конкретного контексту наукової діяльності. У різних предметних сферах це поняття передбачає відмінні вимоги до науковців і наукових спільнот, а також по-різному визначає практики організації досліджень і поширення їх результатів. Крім того, значну роль відіграють інституційні умови здійснення наукової діяльності, оскільки наукові установи та університети мають різний рівень розвитку інфраструктури й сервісів, призначених для управління дослідницькими даними. Унаслідок цього у багатьох дослідників відсутнє чітке уявлення про практичні механізми реалізації принципів відкритої науки [3, 7].

Слід зазначити, що реальний рівень розуміння українськими науковцями принципів відкритої науки та відкритого доступу, а також особливості їх практичного застосування залишаються недостатньо вивченими. Потребує також більш глибокого аналізу питання інституційної підтримки впровадження відповідних практик у закладах вищої освіти та

наукових установах України. На сьогодні лише окремі аспекти використання елементів відкритої науки стали предметом дослідження, зокрема у працях, виконаних у Національній академії педагогічних наук України [3], а також у межах реалізації міжнародного проєкту OPTIMA [9].

Мета статті полягає в аналізі концептуальних засад відкритої науки як сучасного підходу до організації та реалізації наукового процесу, у дослідженні особливостей і проблем впровадження принципів відкритої науки в діяльність наукових установ і закладів вищої освіти України з урахуванням міжнародного досвіду та сучасних тенденцій розвитку наукової комунікації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одними з перших офіційних документів, у яких були закладені базові засади формування концепції відкритої науки, вважаються «Будапештська ініціатива відкритого доступу» (2001 р.) та «Берлінська декларація про відкритий доступ до наукових і гуманітарних знань» (2003 р.). Саме ці міжнародні документи започаткували формування сучасного підходу до забезпечення відкритості наукових результатів, їх широкого поширення та доступності для наукової спільноти і суспільства загалом.

У подальшому розвиток і конкретизація принципів відкритої науки знайшли відображення у низці програмних документів провідних міжнародних організацій. Зокрема, детальний виклад основних положень цієї концепції міститься у Керівництві до програми «Горизонт Європа», підготовленому Європейською комісією у 2021 році, у Рекомендації ЮНЕСКО щодо відкритої науки, прийнятій під час 41-ї сесії Генеральної конференції у вересні 2021 року, а також у Концептуальній записці Організації Об’єднаних Націй, присвяченій питанням розвитку відкритої науки. У зазначених документах визначаються ключові принципи

відкритості наукових знань, доступу до результатів досліджень, поширення наукових даних та посилення міжнародної наукової співпраці.

Водночас важливим етапом у процесі інтеграції України до Європейського дослідницького простору стало ухвалення розпорядження «Про затвердження національного плану щодо відкритої науки», яке спрямоване на формування національної політики у сфері відкритого доступу до результатів наукових досліджень, розвиток інфраструктури відкритих наукових даних та впровадження сучасних підходів до організації наукової діяльності [5].

Відкрита наука розглядається як комплексне поняття, яке об'єднує сукупність підходів і практик, спрямованих на забезпечення максимальної доступності наукових знань та можливостей їх подальшого використання. Йдеться про створення умов, за яких багатомовні наукові результати можуть бути вільно поширені, доступні для повторного використання, а також сприяти розвитку наукової співпраці й активнішому обміну інформацією між дослідниками. Водночас важливим аспектом цієї концепції є підвищення рівня відкритості наукової діяльності для суспільства, зокрема через ознайомлення громадськості з процесами створення, оцінювання та поширення наукових знань [11].

З огляду на це, поняття «відкрита наука» охоплює широкий спектр взаємопов'язаних напрямів і практик. Серед них особливе місце посідають відкритий доступ до наукових публікацій (Open Access) та відкриті дослідницькі дані (Open Research Data). Окрім цього, важливими складовими відкритої науки є залучення громадян до наукових досліджень (Citizen Science), використання практик відкритого рецензування (Open Peer Review), розвиток відкритого програмного забезпечення, а також поширення відкритих освітніх ресурсів [7].

Поширення і посилення впливу руху відкритої науки зумовлене низкою взаємопов'язаних чинників. Зокрема, вагому роль відіграє стрімкий розвиток цифрових, обчислювальних і комунікаційних технологій, а також значне зростання обсягів даних, що використовуються у сучасних наукових дослідженнях. Водночас важливими є й політичні та економічні передумови, серед яких особливе значення має прагнення урядів і організацій, що фінансують наукові дослідження, забезпечити більшу прозорість та підзвітність наукової діяльності. Такі підходи спрямовані також на зміцнення довіри суспільства до науки та її результатів.

У сучасних умовах розвитку цифрової науки сформовано широкий спектр сервісів і платформ, які сприяють відкритому поширенню наукових знань. До них належать як дисциплінарні, так і інституційні репозитарії, журнали відкритого доступу, у тому числі так звані «діамантові» видання, що не передбачають оплати за публікацію. Крім того, активно розвиваються платформи для поширення програмного забезпечення, наукових моделей і даних, а також різноманітні цифрові інструменти, що підтримують усі етапи життєвого циклу наукового дослідження – від планування та збору даних до їх аналізу, публікації та подальшого використання [12].

У різних країнах світу уряди та організації, що фінансують наукові дослідження, дедалі активніше підтримують політику відкритості, розглядаючи її як важливу складову сучасної наукової діяльності. Поширення принципів відкритої науки сприяє підвищенню прозорості дослідницьких процесів, розширенню доступу до результатів наукових досліджень та посиленню міжнародної наукової співпраці. У цьому контексті особливої актуальності набуває питання переходу до практик відкритої науки для України, де досі відчувається нестача необхідних знань, методологічних підходів, інституційних політик та відповідної інфраструктури у наукових установах і закладах вищої освіти. У науковому

середовищі зберігаються певні бар'єри та упередження щодо реального застосування відкритих практик у дослідницькій діяльності. Зокрема, результати аналізу представництва України в міжнародному репозитарії ZENODO свідчать про досить суперечливу ситуацію. Із понад 42 тисяч матеріалів, розміщених українськими дослідниками, частка дослідницьких даних становить менше ніж 2 %. Переважну більшість опублікованих матеріалів складають наукові публікації, постери або навчальні матеріали, які лише частково відповідають принципам відкритості дослідницьких даних [7].

Тому впровадження нових підходів до наукової комунікації та трансформація традиційних моделей публікаційної діяльності потребують змін у дослідницьких практиках і професійних звичках науковців. Такий процес може бути тривалим і вимагати додаткових ресурсів. Однак відмова від модернізації існуючих підходів до організації наукових досліджень може призвести до ще більших втрат для наукової спільноти та суспільства загалом [8]. У зв'язку з цим ініціативи, спрямовані на забезпечення відкритості науки, мають розширюватися та набувати більш системного характеру. Важливо сформувати цілісну наукову екосистему, у межах якої не лише результати досліджень будуть доступними для широкого використання, а й сам дослідницький процес відзначатиметься високим рівнем прозорості від початкових етапів проведення дослідження. Такий підхід сприятиме більш ретельному аналізу результатів, розвитку співпраці та підвищенню довіри до науки [10].

Попри усвідомлення на державному рівні важливості впровадження принципів відкритої науки в Україні, наукові установи та заклади вищої освіти стикаються з низкою проблем, що потребують системного вирішення. Насамперед йдеться про відсутність уніфікованих вимог щодо забезпечення відкритості наукових досліджень і доступності їх результатів. Така ситуація

ускладнює формування єдиної політики відкритої науки в національному науковому просторі та створює перешкоди для ефективного поширення результатів дослідницької діяльності.

Існує необхідність інтеграції елементів відкритої науки, які функціонують у межах українських наукових установ, із національними та міжнародними інформаційними системами. Зокрема, актуальним завданням є узгодження відповідних інструментів і сервісів із Національний репозитарій академічних текстів, а також забезпечення їхньої сумісності з інфраструктурою European Open Science Cloud. Крім того, важливим є розширення присутності результатів українських досліджень у міжнародних репозитаріях і наукових пошукових системах, підтримка сучасних протоколів обміну метаданими, використання англомовних метаданих, а також впровадження ідентифікаторів цифрових об'єктів (DOI), що забезпечують надійну ідентифікацію та цитування наукових матеріалів.

Серед інших проблем слід виокремити відсутність узгоджених вимог до діяльності наукових періодичних видань щодо їх відповідності принципам відкритої науки. Це стосується як політик відкритого доступу, так і стандартів поширення дослідницьких даних та забезпечення прозорості редакційних і рецензійних процедур. Водночас суттєвою перешкодою для поширення практик відкритої науки залишається недостатній рівень обізнаності значної частини науковців із її принципами, інструментами та можливостями практичного застосування.

Подолання зазначених проблем потребує вдосконалення політик наукових організацій України, спрямованих на системне впровадження принципів відкритої науки. Реалізація таких підходів має сприяти підвищенню суспільного, академічного та економічного впливу наукових досліджень, що здійснюються в наукових установах. Водночас відкритість дослідницьких процесів і результатів сприятиме зміцненню академічної

доброчесності, підвищенню якості наукових досліджень і рівня довіри до них. Вони мають бути представлені у такій формі, щоб забезпечувати можливість їх широкого використання як науковцями, так і інформаційно-аналітичними системами. У цьому контексті важливим є стимулювання дослідників до оперативного оприлюднення результатів досліджень у відкритому доступі з метою забезпечення їх доступності, перевірюваності та можливості повторного використання. Важливо також дотримуватися принципів належного управління дослідницькими даними, зокрема принципів FAIR, що передбачають забезпечення відшукуваності, доступності, сумісності та повторного використання дослідницьких матеріалів.

Не менш важливим завданням є підвищення рівня поінформованості науковців щодо можливостей і переваг відкритої науки, а також формування відповідних професійних компетентностей. Це передбачає розвиток системи підвищення кваліфікації науковців, проведення навчальних програм, тренінгів та консультацій з питань використання відкритих практик у науково-дослідній діяльності, управління дослідницькими даними та використання цифрових інструментів наукової комунікації. Необхідно забезпечити дослідників доступом до наукової інфраструктури установ, що передбачає надання можливості користування дослідницькими ресурсами як вітчизняним, так і іноземним ученим, а також підтримку інституційних репозитаріїв наукових текстів, інтегрованих із національними та міжнародними системами відкритих наукових публікацій.

Для ефективного впровадження принципів відкритої науки у діяльність наукових установ доцільно розробити систему практичних рекомендацій, спрямованих на формування відповідної інституційної політики та створення необхідних організаційних умов. Важливо чітко визначити ролі, права і відповідальність різних суб’єктів, залучених до

реалізації політики відкритої науки. Це дозволить забезпечити узгодженість дій адміністрації наукових установ, дослідників, редакцій наукових видань, підрозділів інформаційної підтримки та інших учасників наукового процесу.

Одним із ключових напрямів діяльності наукових організацій у цьому контексті є забезпечення відкритого доступу до результатів досліджень і дослідницьких даних. Наукові видання, що функціонують при установах, повинні підтримувати політику відкритого доступу із застосуванням відповідних ліцензій, зокрема типу CC BY. Важливим інструментом для організації відкритого наукового публікування може бути використання платформи Open Journal Systems. Дослідники мають поширювати результати своєї наукової діяльності відповідно до принципів відкритого доступу, включаючи публікацію результатів досліджень, що не дали очікуваного ефекту, якщо вони становлять наукову цінність або можуть запобігти повторенню неефективних досліджень.

Наукові установи повинні сприяти дослідникам у виборі надійних цифрових сховищ для збереження результатів досліджень та їх поширення. Серед спеціалізованих платформ, що використовуються у міжнародній науковій практиці, варто відзначити Europe PMC (у галузі наук про життя), OAPEN Library (для академічних книг, передусім у соціальних і гуманітарних науках) та CORE Repository (для гуманітарних і соціальних досліджень). У разі відсутності спеціалізованих доменних сховищ доцільно використовувати універсальні платформи відкритого доступу, такі як Zenodo або Figshare.

Не менш важливим аспектом є вдосконалення системи оцінювання результатів наукової діяльності. Оцінювання доцільно здійснювати із застосуванням комплексних підходів, що враховують різні аспекти використання принципів відкритої науки на всіх етапах наукової кар’єри. Зокрема, це передбачає оцінювання досвіду дослідників у забезпеченні

відкритого доступу до публікацій, поширенні дослідницьких даних, використанні відкритих платформ та сервісів, участі у спільних дослідницьких проєктах із представниками неакадемічного сектору, практиках відкритого рецензування та ініціативах громадянської науки. Важливо також забезпечити інституційне визнання досягнень у сфері відкритої науки, зокрема під час укладання контрактів, просування по службі та оцінювання професійної діяльності дослідників. Така система має ґрунтуватися на сучасних міжнародних підходах до оцінювання досліджень, зокрема на принципах San Francisco Declaration on Research Assessment та використанні інструментів оцінювання кар'єрного розвитку дослідників, зокрема матриці відкритої науки (OSCAM).

Сучасні підходи до відкритої науки передбачають і залучення представників неакадемічного сектору до реалізації дослідницьких проєктів, зокрема через використання таких інструментів, як краудфандинг, краудсорсинг та наукове волонтерство. Додатково доцільно організовувати інформаційно-комунікаційні кампанії, спрямовані на популяризацію наукових досягнень і поширення знань про можливості їх практичного застосування у професійній діяльності та повсякденному житті. Така діяльність має здійснюватися з урахуванням міжнародного досвіду, зокрема принципів European Citizen Science Association. Дослідницькі напрями повинні узгоджуватися з актуальними суспільними викликами, а результати наукової діяльності активно поширюватися серед громадськості.

Особливу увагу слід приділяти забезпеченню академічної доброчесності в умовах відкритої науки. Для цього необхідно гармонізувати внутрішні стандарти наукових установ із національними та міжнародними вимогами, зокрема положеннями European Code of Conduct for Research Integrity. Важливим також є відповідальне використання новітніх цифрових технологій, включаючи системи генеративного штучного інтелекту, а також

дотримання сучасних стандартів управління даними відповідно до положень General Data Protection Regulation. У наукових установах мають бути визначені чіткі критерії належної дослідницької поведінки, а також механізми реагування на порушення наукової доброчесності. Це сприятиме підвищенню якості та надійності наукових результатів, включаючи публікації, дослідницькі дані, метадані, програмне забезпечення, коди, протоколи та інші матеріали досліджень. Водночас важливо формувати стимули для розвитку культури академічної доброчесності серед науковців та інших зацікавлених сторін.

Окремим напрямом є врегулювання питань інтелектуальної власності в умовах відкритої науки. Це передбачає дотримання чинного національного законодавства та імплементацію відповідних європейських стандартів, зокрема положень Directive 2004/48/EC on the Enforcement of Intellectual Property Rights. Також необхідно врегулювати питання використання конфіденційної інформації, комерційної таємниці та персональних даних під час забезпечення відкритого доступу до результатів досліджень. Важливим є захист прав власності на результати інтелектуальної діяльності, створені співробітниками наукових установ, а також визначення прозорих механізмів розподілу прибутків від комерціалізації результатів наукових досліджень.

Висновки. Запровадження принципів відкритої науки в діяльності наукових установ України має на меті розвиток відкритого обміну науковими знаннями, а також посилення суспільного впливу результатів наукових досліджень. Реалізація цієї мети передбачає виконання низки ключових завдань, серед яких важливе місце займає підвищення достовірності, надійності та відтворюваності результатів наукових досліджень. Водночас особливого значення набуває стимулювання раннього поширення результатів наукової діяльності, що сприяє більш оперативному обміну знаннями у науковому середовищі. Важливим напрямом також є

інтеграція принципів відкритості у систему оцінювання наукової діяльності, що передбачає визнання відкритих практик як вагомого критерію результативності досліджень. Крім того, запровадження відкритої науки має сприяти підвищенню міжнародної видимості результатів досліджень українських учених, популяризації науки, поширенню наукових знань у суспільстві та активнішому залученню громадян до участі у дослідницькій діяльності.

Список використаних джерел

1. Бороздих Н.В. Принципи відкритої науки як основа формування наукового простору в Україні. *Наука та наукознавство.* 2023. № 2. С. 116–137.

2. Кутканич М. Репозитарій як один із компонентів відкритої науки у закладі вищої освіти. *Бібліотечний форум: історія, теорія і практика.* 2024. № 2. С. 8–11.

3. Луговий В.І., Драч І.І., Петроє О.М., Регейло І.Ю. Про результати дослідження «Підвищення дослідницької спроможності університетів України в умовах війни та повоєнного відновлення у контексті імплементації концепції “відкрита наука”». *Вісник Національної академії педагогічних наук України.* 2024. Т. 6, № 1. С. 1–7. https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6103.

4. Носенко Ю.Г., Сухіх А.С. Відкрита наука в контексті побудови суспільства знань і цифрових перетворень європейського простору. *Фізико-математична освіта.* 2020. Вип. 4 (26). С. 85–92. https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-026-4-015.

5. Про затвердження національного плану щодо відкритої науки: розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 жовт. 2022 р. № 892-р [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/892-2022-%D1%80#Text.

6. Хіміч О.М. Про результати виконання цільового науково-технічного проєкту НАН України «Створення і впровадження інфраструктури відкритої науки в НАН України (OPENS)» на 2023–2024 роки : стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 19 лютого 2025 року. *Вісник Національної академії наук України. 2025*. № 4. С. 70–74.

7. Ярошенко Т.О., Яшник М.В. Відкритий доступ і відкрита наука в Україні з погляду дослідників (за результатами соціологічного дослідження 2025 р.). *Наука та наукознавство.* 2025. № 4 (130). С. 3–22. https://doi.org/10.15407/sofs2025.04.003.

8. Bontemps C., Orozco V. Toward a FAIR Reproducible Research. Toulouse : Toulouse School of Economics. *Working paper*. 2020. № 1161. 24 p.

9. Kormann E., Klebel T., Zhezhnych P., Berezko O., Ross-Hellauer T. Report on Academic Integrity Awareness and Open Science Recognition Levels in Ukraine (2021–2023). *Zenodo*, 2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13898981.

10. Thibault R., Amaral O., Argolo F., Bandrowski A., Davidson A., Drude N. Open Science 2.0: Towards a Truly Collaborative Research Ecosystem. *PLoS Biology*. 2023. Vol. 21, №. 10. e3002362. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002362.

11. UNESCO Recommendation on Open Science. Paris : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2021. https://doi.org/10.5281/zenodo.5834767.

12. Yaroshenko T., Iaroshenko O. Digital Open Science Tools (DOTS) for Research Life Cycle // Proceedings of the II International Conference “Open Science and Innovation in Ukraine 2023”. *Bentham Science Publishers,* 2024. P. 179–181. URL: https://zenodo.org/records/17036844.

References

1. Borozdykh, N.V. (2023). Pryntsypy vidkrytoi nauky yak osnova formuvannia naukovoho prostoru v Ukraini [Principles of open science as the basis for the formation of the scientific space in Ukraine]. *Nauka ta naukoznavstvo*, 2, 116–137.

2. Kutkanych, M. (2024). Repozytarii yak odyn iz komponentiv vidkrytoi nauky u zakladi vyshchoi osvity [Repository as one of the components of open science in a higher education institution]. *Bibliotechnyi forum: istoriia, teoriia i praktyka*, 2, 8–11.

3. Luhovyi, V.I., Drach, I.I., Petroie, O.M., & Reheilo, I.Yu. (2024). Pro rezultaty doslidzhennia "Pidvyshchennia doslidnytskoi spromozhnosti universytetiv Ukrainy v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia u konteksti implementatsii kontseptsii 'vidkryta nauka'" [On the results of the study "Enhancing the research capacity of Ukrainian universities in wartime and post-war recovery in the context of implementing the concept of open science"]. *Visnyk Natsionalnoi akademii pedahohichnykh nauk Ukrainy*, 6(1), 1–7. https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6103

4. Nosenko, Yu.H., & Sukhikh, A.S. (2020). Vidkryta nauka v konteksti pobudovy suspilstva znan i tsyfrovykh peretvoren yevropeiskoho prostoru [Open science in the context of building a knowledge society and digital transformations of the European space]. *Fizyko-matematychna osvita*, 4(26), 85–92. https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-026-4-015

5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *Pro zatverdzhennia natsionalnoho planu shchodo vidkrytoi nauky: rozporiadzhennia № 892-r vid 8 zhovtnia 2022 r.* [On approval of the National Plan for Open Science]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/892-2022-%D1%80#Text

6. Khimich, O.M. (2025). Pro rezultaty vykonannia tsilovoho naukovo-tekhnichnoho proiektu NAN Ukrainy “Stvorennia i vprovadzhennia infrastruktury vidkrytoi nauky v NAN Ukrainy (OPENS)” na 2023–2024 roky [On the results of the implementation of the target scientific and technical project of the NAS of Ukraine “Creation and implementation of open science infrastructure in NAS of Ukraine (OPENS)” for 2023–2024]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 4, 70–74.

7. Yaroshenko, T O., & Yashnyk, M.V. (2025). Vidkrytyi dostup i vidkryta nauka v Ukraini z pohliadu doslidnykiv (za rezultatamy sotsiolohichnoho doslidzhennia 2025 r.) [Open access and open science in Ukraine from researchers’ perspective]. *Science and Science of Science*, 4(130), 3–22. https://doi.org/10.15407/sofs2025.04.003

8. Bontemps, C., & Orozco, V. (2020). *Toward a FAIR reproducible research*. Toulouse School of Economics, Working Paper No. 1161.

9. Kormann, E., Klebel, T., Zhezhnych, P., Berezko, O., & Ross-Hellauer, T. (2024). *Report on academic integrity awareness and Open Science recognition levels in Ukraine (2021–2023)*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.13898981

10. Thibault, R., Amaral, O., Argolo, F., Bandrowski, A., Davidson, A., & Drude, N. (2023). Open Science 2.0: Towards a truly collaborative research ecosystem. *PLoS Biology*, 21(10), e3002362. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002362

11. UNESCO. (2021). *UNESCO Recommendation on Open Science*. https://doi.org/10.5281/zenodo.5834767

12. Yaroshenko, T., & Iaroshenko, O. (2024). Digital Open Science Tools (DOTS) for research life cycle. In *Proceedings of the II International Conference “Open Science and Innovation in Ukraine 2023”* (pp. 179–181). Bentham Science Publishers. https://zenodo.org/records/17036844

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

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 2. № 2. 2026

Signed for printing on February 21, 2026
Format 60x90/8. Offset paper and printing Headset Times New Roman.
Mental printing. arc. 10,36. Edition 100 copies.