



International Science Group

ISG-KONF.COM

**XXIX International Scientific and Practical Conference
«Digital transformation: current challenges and future
plans»**

**July 21–24, 2026
Prague, Czech Republic**

ISBN - 979-8-90383-413-6

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.29

DIGITAL TRANSFORMATION: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE PLANS

Proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference

Prague, Czech Republic
July 21-24, 2026

UDC 01.1

The 29th International scientific and practical conference “Digital transformation: current challenges and future plans” (July 21–24, 2026) Prague, Czech Republic. International Science Group. 2026. 109 p.

ISBN – 979-8-90383-413-6

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.29

EDITORIAL BOARD

<u>Pluzhnik Elena</u>	Professor of the Department of Criminal Law and Criminology Odessa State University of Internal Affairs Candidate of Law, Associate Professor
<u>Liudmyla Polyvana</u>	Department of accounting, Audit and Taxation, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
<u>Mushenyk Iryna</u>	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Mathematical Disciplines, Informatics and Modeling. Podolsk State Agrarian Technical University
<u>Prudka Liudmyla</u>	Odessa State University of Internal Affairs, Associate Professor of Criminology and Psychology Department
<u>Marchenko Dmytro</u>	PhD, Associate Professor, Lecturer, Deputy Dean on Academic Affairs Faculty of Engineering and Energy
<u>Harchenko Roman</u>	Candidate of Technical Sciences, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles.
<u>Belei Svitlana</u>	Ph.D., Associate Professor, Department of Economics and Security of Enterprise
<u>Lidiya Parashchuk</u>	PhD in specialty 05.17.11 "Technology of refractory non-metallic materials"
<u>Levon Mariia</u>	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Scientific direction - morphology of the human digestive system
<u>Hubal Halyna</u> <u>Mykolaivna</u>	Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

TABLE OF CONTENTS

BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY		
1.	Kocharli N., Hummatova S. FORMATION OF LONG-LIVED PROTEIN RADICALS UNDER THE EFFECT OF ULTRAVIOLET-B RADIATION	6
CHEMISTRY		
2.	Koshchii I., Klimko Y. ADAMANTYLGLYCINE AS A SYNTHON FOR NITROGENOUS HETEROCYCLES. SYNTHESIS OF 1-ACETYL-4-(ADAMANTAN-1-YL)-2-METHYL-3,4-DIHYDRO-1H-BENZO[D][1,3]DIAZEPIN-5(2H)-ONE	8
CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING		
3.	Моргун А.С., Метъ І.М., Записов Д.В., Колесник А.В. ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	11
ECOLOGY		
4.	Poleva J. RICH BIODIVERSITY AS EVIDENCE OF A HEALTHY ENVIRONMENT: THE CASE OF FLORIDA	18
EDUCATION		
5.	Малявко О.М. ЯК ІНТЕРАКТИВНА ДОШКА CLEVERMATHS ДОПОМАГАЄ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В ОНЛАЙН-ФОРМАТІ	26
ELECTRICAL ENGINEERING		
6.	Літковець С.П., Кирильчук В.І. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ В СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРАХ З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ	33
INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES		
7.	Петренко Ю.А. КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ	36

8.	Черниш Ю.О., Черниш Є.С., Терещенко Т.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У ВМР-ЗОБРАЖЕННЯХ МЕТОДАМИ СТЕГАНОГРАФІЇ	43
MANAGEMENT		
9.	Євстаф'єв С.М. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ІНОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ	47
MEDICINE		
10.	Dondoladze K., Tchipashvili N. DIGITAL FATIGUE: CURRENT CHALLENGES IN DIGITAL TRANSFORMATION	50
11.	Oradova A.S., Batyrbaeva D.Z., Kuatbaeva A.M. METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR INTERNAL QUALITY CONTROL IN MOLECULAR GENETIC LABORATORIES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE AND FUTURE DEVELOPMENT PERSPECTIVES	53
12.	Tolenbekova B., Mergen B. HEART FAILURE WITH PRESERVED EJECTION FRACTION: CONTEMPORARY UNDERSTANDING OF PATHOPHYSIOLOGY AND TREATMENT	64
13.	Горохівська О.Т. ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РІЗНИХ ВИДІВ МАКУЛИРНОГО НАБРЯКУ ПІСЛЯ ФАКОЕМУЛЬСИФІКАЦІЇ ПРИ ЦУКРОВОМУ ДІАБЕТІ 2 ТИПУ	72
14.	Данілова В.В., Чубенко В.А., Василенко І.О. ЦИФРОВА ЕВОЛЮЦІЯ УКРАЇНСЬКОЇ МЕДИЦИНИ ВІД ПАПЕРОВОЇ РУТИНИ ДО ЕКОСИСТЕМИ Е-ЗДОРОВ'Я	75
OCCUPATIONAL SAFETY		
15.	Bazarkeldi A., Nitalina A., Oradova A., Kuatbayeva A. HYGIENIC STANDARDIZATION OF PM2.5 AND PM10 IN WORKPLACE AIR: INTERNATIONAL APPROACHES AND THE SITUATION IN KAZAKHSTAN	80

PHILOLOGY		
16.	Voinalovych L. FUNCTIONS OF THE GERUND IN LITERARY DISCOURSE	89
PHYSICS AND ASTRONOMY		
17.	Alakbarov S.S. OZONE FORMATION IN THE MICRODISCHARGE CHANNEL IN THE BARRIER DISCHARGE	91
PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION		
18.	Kachurovskyi O. THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE FUNCTIONING OF UKRAINE'S POLITICAL REGIME	98
TOURISM AND RECREATION		
19.	Мельник І.Л. ТРАНСФОРМАЦІЯ ДИСТРИБУЦІЇ ГОТЕЛЬНИХ ПОСЛУГ ПІД ВПЛИВОМ МЕТАПОШУКОВИХ СИСТЕМ	102
TRANSPORT		
20.	Tamargazin O. TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE GLOBAL AIR CARGO MARKET	104

FORMATION OF LONG-LIVED PROTEIN RADICALS UNDER THE EFFECT OF ULTRAVIOLET-B RADIATION

Kocharli Natella
Hummatova Samira

Department of Biophysics and Biochemistry
Baku State University
Baku, Azerbaijan

According to the literature, long-lived protein radicals (LLPRs) may be formed in various biological systems under the influence of ionizing and ultraviolet radiation [1,2].

It has been established that LLPRs can induce oxidative damage in biological molecules [3,4].

In the present study, the effect of ultraviolet-B (UV-B) radiation on egg white albumin was investigated. For this purpose, a chemiluminometer was used.

Initially, albumin solutions of different concentrations (0.1%, 0.5%, 1.0%, and 1.5%) were prepared in Tris-HCl buffer and irradiated with different doses of UV-B radiation.

It was determined that the maximum chemiluminescence intensity was observed at an albumin concentration of 0.3%. At this concentration, the dose–effect curve was established.

The obtained results showed that the chemiluminescence intensity increased with increasing doses of UV-B radiation.

It is known that LLPRs may induce mutations in cells. They are also capable of prolonging the effects of oxidative stress on biological macromolecules. Some low-molecular-weight antioxidants, such as ascorbic acid, are able to quench LLPRs.

In our experiments, ascorbic acid at a concentration of 1×10^{-3} M was used as an antioxidant. A PRK-4 mercury lamp served as the UV-B radiation source.

It was found that the addition of ascorbic acid to the albumin solution before irradiation reduced the chemiluminescence intensity. However, at very high doses of UV-B radiation, the antioxidant effect of ascorbic acid on albumin was weakened.

Coumarin-3-carboxylic acid (CCA) was used to determine hydroxyl (OH) radicals. The major fluorescent product formed during the reaction of OH radicals with CCA is 7-hydroxycoumarin-3-carboxylic acid (7-OH-CCA). The fluorescence intensity is proportional to the amount of the fluorescent product, i.e., the degree of hydroxylation.

Fluorescence intensity was measured using a spectrofluorometer at an excitation wavelength of 400 nm and an emission wavelength of 450 nm [5].

It was established that the fluorescence intensity increased due to the higher concentration of 7-OH-CCA in the protein solution exposed to UV-B radiation, and this increase depended on the UV-B radiation dose [6].

It was concluded that long-lived protein radicals are formed in albumin solutions irradiated with UV-B radiation, which in turn leads to an increase in the amount of hydroxyl (OH) radicals.

References

1. Koyama S., Kodama S., Suzuki K., Matsumoto T., Miyazaki T., Watanabe M. Radiation-induced long-lived radicals which cause mutation and transformation // *Mutat. Res. - Fundam. Mol. Mech. Mutagen.* 1998. V. 421(1). P. 45–54.
2. Wang H., Liu R., Tu T., Xie L., Sheng K., Chen Y., Tang X. Properties of radicals formed by the irradiation of wool fibers // *J. Radiat. Res.* 2004. V.45 (1). P. 77– 81. 274
3. Kumagai J., Katon H., Miyazaki T., Hidema J., Kumaga T. Differences in the sensitivity to UVB radiation of two cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) based on observation of long-lived radicals // *J. Radiat. Res.* 1999. V.40 (4). P. 303–310.
4. Shireen, Chughtai A., Hasan W., Mahdi A.A., Islam N. Effect of resveratrol on the biomarkers of oxidative stress and inflammation in monocyte cultures from PBMC's of patients with myocardial infarction // *Indian J. Biochem. Biophys.* 2018. V. 55(5). P. 328–333.
5. Gudkov S.V., Gudkova O.Y., Chernikov A.V., Bruskov V.I. Protection of mice against X-ray injuries by the post-irradiation administration of guanosine and inosine. // *Int. J. Radiat. Biol.* 2009. Vol. 85. №2. P. 116–125.
6. Hummatova S.T., Kocharli N.K, Chemiluminescence study of the formation of protein radicals under the influence of ultraviolet-b rays., *Nature & Science* 2025, P.11-16

ADAMANTYLGLYCINE AS A SYNTHON FOR NITROGENOUS HETEROCYCLES. SYNTHESIS OF 1- ACETYL-4-(ADAMANTAN-1-YL)-2-METHYL-3,4- DIHYDRO-1H-BENZO[D][1,3]DIAZEPIN-5(2H)-ONE

Koshchii Iryna

PhD in Chemistry, Associate Professor

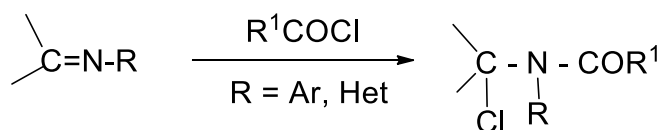
Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Klimko Yurii

PhD in Chemistry, Senior Lecturer

Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

It is known that many heterocyclic compounds, even relatively simple ones, are difficult to obtain, significantly limiting their scope of application. Therefore, the search for new regioselective heterocyclizations based on readily available reagents is highly relevant. Various amidoalkylating agents, in particular those obtained from Schiff bases according to the general scheme, are among such promising reagents:



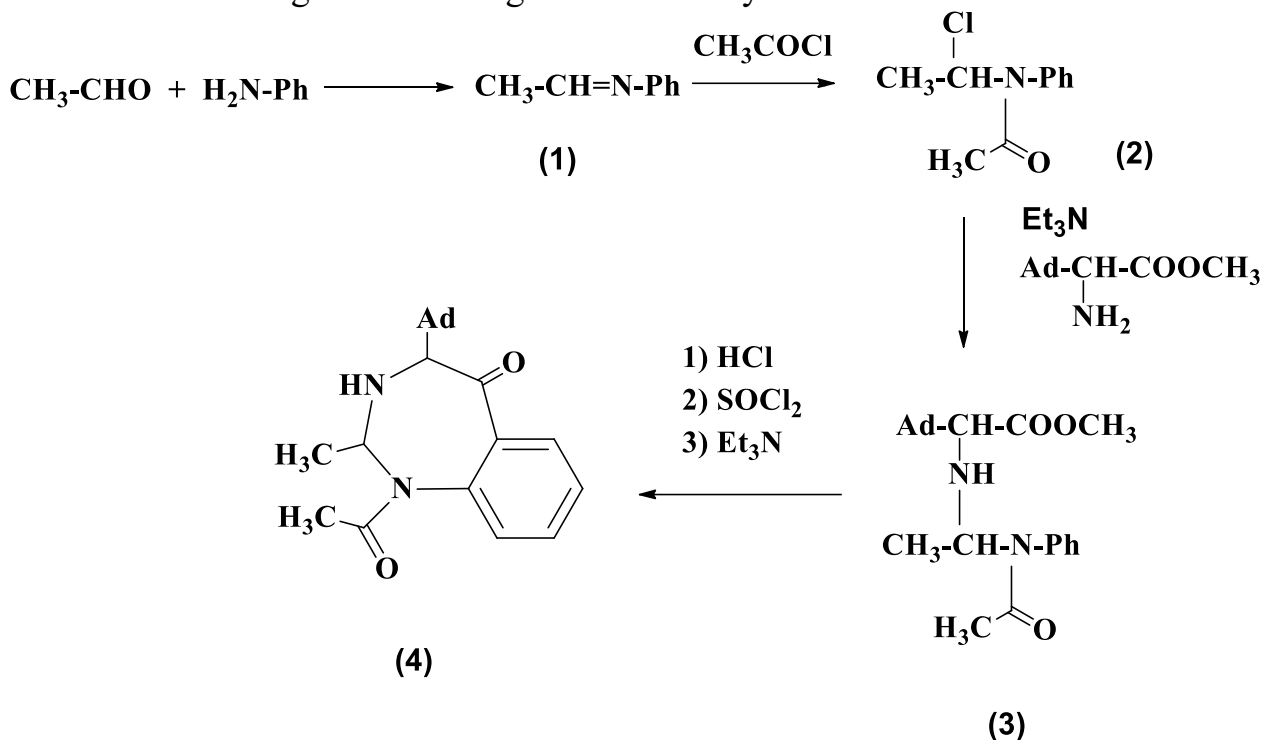
The preparation of reagents according to this scheme is only briefly mentioned in the literature [1-3].

The use of such amidoalkylating reagents obtained from cage ketones would allow the preparation of nitrogen heterocycles by a new method, often yielding uniquely high yields [4].

The aim of this study is to attempt the synthesis of N-(3-(adamantan-1-yl)-4-oxo-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-N-cyclohexylacetamide using 1-adamantylglycine as a synthon to prepare the amidoalkylating reagent.

The physiological activity of cage hydrocarbon derivatives, primarily adamantane derivatives, has been extensively studied. Some of them are already used as pharmaceuticals. The activity of these compounds is due to the pronounced lipophilic nature of the compact hydrocarbon fragment, as well as, probably, the abiogenic origin of most of these compounds [5, 6].

Below is the diagram according to which the synthesis was carried out:



General synthesis procedure.

1) *N-ethylidene anion (1)*. Mix equimolar amounts of acetaldehyde and aniline in toluene. Boil with a Dean-Stark trap until the calculated amount of water is absorbed.

2) *N-phenyl-N-1-chloroethene acetamide (2)*. Add an equimolar amount of chloroacetate to the residue and leave at room temperature for 24 hours.

3) *N-(1-N-acetaminophenethene)adamantylglycine methanoate (3)*. Add equimolar amounts of 1-adamantylglycine methyl ester, prepared by the standard method by dropping SOCl₂ into a methanol solution of 1-adamantylglycine, and triethylamine. Boil for 3 hours. Filter off the precipitated triethylamine hydrochloride. The solvent is removed in vacuo. Yield 96% (methanol).

4) *1-Acetyl-4-(adamantan-1-yl)-2-methyl-3,4-dihydro-1H-benzo[d][1,3]diazepin-5(2H)-one (4)*. A minimum amount of concentrated hydrochloric acid is added to a solution of product (3) in methanol and the mixture is left at room temperature overnight. The solution is made alkaline with a methanolic solution of NaOH. The solvent is removed in vacuo. Dry benzene is added and the mixture is again evaporated to a small volume. SOCl₂ is added with a molar excess of 10%. The mixture is left at room temperature overnight. The solvent and excess SOCl₂ are removed in vacuo. Dry toluene and an equimolar amount of Et₃N are added. The mixture is refluxed for 8 hours. The solvent is removed in vacuo. The residue is crystallized from ethanol. Yield 93%.

The structure of compound (4), (5) was confirmed based on ¹H and ¹³C NMR, IR and mass spectra.

References

1. Hellmann H. //Angew. Chem., - 1957. – 69, #13/14. – S. 463 – 471.

2. Adams P., Baron F. A. // Chem. Revs. – 1965. – 65, #5. – P. 567-602.
3. Zaugg H. E. // Synthesis. – 1970. – 1 - #2. – P. 49 – 73.
4. Petersen H. // Synthesis. – 19973. - #5. – P.243-292.
5. Skoldinov A.P. // Scientific Conf. on Organopolyhedra Chemistry: Abstracts of Reports. 1981. P. 133.
6. Kovtun I.Yu., Plakhotnik V.M. // Chemical-pharmaceutical journal. 19987. Vol. 28, No. 8. P. 931-940.

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Моргун Алла Серафимівна,

д.т.н., професор,
Вінницький національний технічний університет

Меть Іван Миколайович,

к.т.н., доцент, декан ФБЦЕІ
Вінницький національний технічний університет

Записов Дмитро Васильович,

аспірант,
Вінницький національний технічний університет

Колесник Андрій Вікторович,

аспірант,
Вінницький національний технічний університет

Будівельна галузь відіграє визначальну роль у соціально-економічному розвитку суспільства, а забезпечення надійності та довговічності будівель і споруд залишається одним із пріоритетних завдань сучасної інженерної науки. В умовах інтенсивної урбанізації, реконструкції існуючого фонду та зведення нових об'єктів особливої актуальності набувають питання проєктування, відновлення й підсилення фундаментів, що потребують адекватного врахування нелінійної поведінки ґрунтових основ. Одним із ключових аспектів такого моделювання є дослідження дилатансійних процесів, які суттєво впливають на напружено-деформований стан системи «основа – фундамент» та її несучу здатність.

У роботі досліджено застосування числового методу граничних елементів (МГЕ) до розв'язання задач пружно-пластичного деформування ґрунтового середовища з урахуванням дилатансійних властивостей. Запропонований підхід дає можливість більш достовірно прогнозувати напружено-деформований стан основи та забезпечувати необхідний рівень експлуатаційної надійності будівель і споруд протягом усього розрахункового терміну їх експлуатації.

Особливістю використаного числового методу граничних елементів є перетворення вихідної системи диференціальних рівнянь у граничні інтегральні рівняння, що забезпечує зменшення порядку задачі на одиницю. Це дозволяє виконувати дискретизацію лише поверхні досліджуваного об'єкта, істотно знижуючи обчислювальну складність задачі та підвищуючи ефективність числового аналізу при моделюванні взаємодії фундаментних конструкцій із нелінійною ґрунтовою основою.

Ключові слова: математична модель, числове моделювання, підсилення фундаментів, метод граничних елементів, дилатансія.

Одним із ефективних шляхів зниження кошторисної вартості фундаментів є застосування раціональних конструктивних рішень, удосконалення методів їх розрахунку та врахування визначальних факторів, що характеризують реальну роботу фундаментних конструкцій у різноманітних інженерно-геологічних умовах. Підвищення точності прогнозування взаємодії системи «основа–фундамент» сприяє оптимізації конструктивних параметрів фундаментів, зменшенню матеріаломісткості та забезпеченню необхідного рівня надійності споруд.

На сучасному етапі розвитку геотехнічного будівництва значний обсяг експериментальних досліджень виконується безпосередньо на будівельних майданчиках. Польові випробування фундаментних конструкцій, зокрема статичні випробування паль, залишаються найбільш достовірним способом визначення їх несучої здатності та є основою для верифікації результатів числового моделювання. Водночас проведення таких випробувань характеризується високою трудомісткістю, значними матеріальними витратами та тривалістю виконання, що обмежує можливість їх широкого застосування на стадії проектування.

У зв'язку з цим актуальною науковою задачею є розвиток сучасних числових методів аналізу, зокрема методу граничних елементів (МГЕ), які забезпечують можливість прогнозування напружено-деформованого стану та несучої здатності фундаментних конструкцій із високою точністю. Використання МГЕ створює передумови для розроблення нових математичних моделей і алгоритмів, спрямованих на підвищення ефективності проектування, оптимізацію конструктивних рішень і вдосконалення методів керування роботою фундаментних систем.

Постійне зростання кількості наукових досліджень, присвячених застосуванню методу граничних елементів, підтверджує його ефективність і перспективність при розв'язанні широкого кола задач геомеханіки та механіки ґрунтів. Особливої актуальності цей підхід набуває при моделюванні нелінійної взаємодії фундаментів із ґрунтовою основою з урахуванням фізичної нелінійності середовища.

У роботі досліджено процес передавання навантаження буронабивною палею довжиною $L = 12$ м на ґрунтову основу через бічну поверхню стовбура та підшву палі. Виконане числове моделювання із застосуванням методу граничних елементів продемонструвало добру збіжність із результатами польових статичних випробувань. Отримані результати підтверджують адекватність запропонованої математичної моделі та свідчать про можливість її використання для оцінювання несучої здатності буронабивних паль за різних інженерно-геологічних умов, фізико-механічних характеристик ґрунтів, а також геометричних параметрів паль, зокрема їх довжини та діаметра стовбура.

Метою дослідження є подальший розвиток методів нелінійного розрахунку ефективних фундаментних конструкцій із урахуванням дилатансійних

властивостей ґрунтової основи та особливостей її взаємодії з фундаментом. Сучасне проєктування будівель і споруд потребує широкого застосування високоточних комп'ютерних технологій числового моделювання, які забезпечують удосконалення розрахункових схем, підвищення достовірності прогнозування напружено-деформованого стану та оптимізацію конструктивних рішень.

Основним завданням роботи є розроблення практичних алгоритмів числового розрахунку взаємодії системи «фундамент–ґрунтова основа», що базуються на положеннях теорії пластичної течії та дилатансійної теорії гранульованих середовищ із використанням методу граничних елементів. Запропонована математична модель повинна адекватно відтворювати фізично нелінійну поведінку ґрунтового середовища на всіх етапах навантаження, забезпечуючи достовірне прогнозування несучої здатності та деформативності фундаментних конструкцій.

Математичне формулювання задачі є основою сучасного інженерного аналізу процесів взаємодії фундаментів із ґрунтовою основою та визначає ефективність числових методів розрахунку. Відомо, що ґрунти вже на початкових стадіях навантаження зазнають незворотних пружно-пластичних деформацій, величина яких істотно залежить від історії прикладення навантаження. Така поведінка обумовлює необхідність використання фізично нелінійних математичних моделей, що описуються системою диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Для числового розв'язання поставленої нелінійної задачі в роботі застосовано метод граничних елементів (МГЕ), який є одним із найбільш ефективних числових методів аналізу контактних задач геомеханіки. На основі методу зважених нев'язок та теореми взаємності Бетті К. Бреббія [1] одержав фундаментальне інтегральне рівняння рівноваги, яке встановлює взаємозв'язок між векторами переміщень і поверхневих зусиль на межі контакту фундаментної конструкції з ґрунтовою основою. Перехід від диференціальної постановки задачі до інтегральної забезпечує зниження порядку розрахункової системи, оскільки дискретизації підлягає лише гранична поверхня досліджуваної області, що суттєво підвищує обчислювальну ефективність методу при розв'язанні просторових задач взаємодії фундаментів із фізично нелінійним ґрунтовым середовищем.

В роботі використано пружно-пластичну дилатансійну модель [2, 3]. Для моделювання поведінки ґрунту в пластичній стадії з метою врахування дисипативних ефектів ґрунту крім рівнянь рівноваги в модель вводилось ще два додаткових. Перше додаткове рівняння – критерій переходу до граничного стану, використано критерій текучості Мізеса-Шлейхера-Боткіна. Другим додатковим рівнянням була залежність між напруженнями та швидкостями деформацій для пластичного стану (неасоційований закон пластичної течії, який найбільш повно відображає поведінку дисперсного середовища ґрунту).

При розв'язанні нелінійної задачі механіки ґрунтів використано квазілінійну постановку і залучено метод пружних розв'язків О.А. Іллюшина [6].

Прийнятність малих поздовжень та нескінченно малих деформацій веде до можливості використання лінійної теорії і як наслідок, до правомірності принципу суперпозицій

Явище зміни об'єму ґрунту при зсвіві – дилатансія відкрито. О.Рейнольдсом в 1885 р. Дилатансія – порушення структури або зміна міцності, що залежить від переміщення частинок ґрунту. Дилатансія робить параметри напружено-деформованого стану ґрунту суттєво нелінійними.

У роботі наведено результати теоретичних досліджень процесу деформування буро набивної палі довжиною $L=12$ м, діаметром 630 мм. В розрахунку використано вісім середньозважених значень показників багатшарової основи ґрунту:

$$E = 23.08 \text{ МПа}; \rho = 1.912 \text{ г/см}^3; \rho_{\max} = 2.1 \text{ г/см}^3; \rho_{\min} = 1.6333 \text{ г/см}^3; \\ c = 20.77 \text{ кПа}; \varphi = 0.472 \text{ рад}; \nu = 0.371; p_o = -0.2014 \text{ МПа}.$$

Заміна геологічних показників багатшарового середовища показниками еквівалентного квазіоднорідного середовища є достатньо ефективним прийомом при розрахунках [4, 5]. Схема розташування дослідної буро набивної палі у ґрунтовому масиві подана на рис. 1.

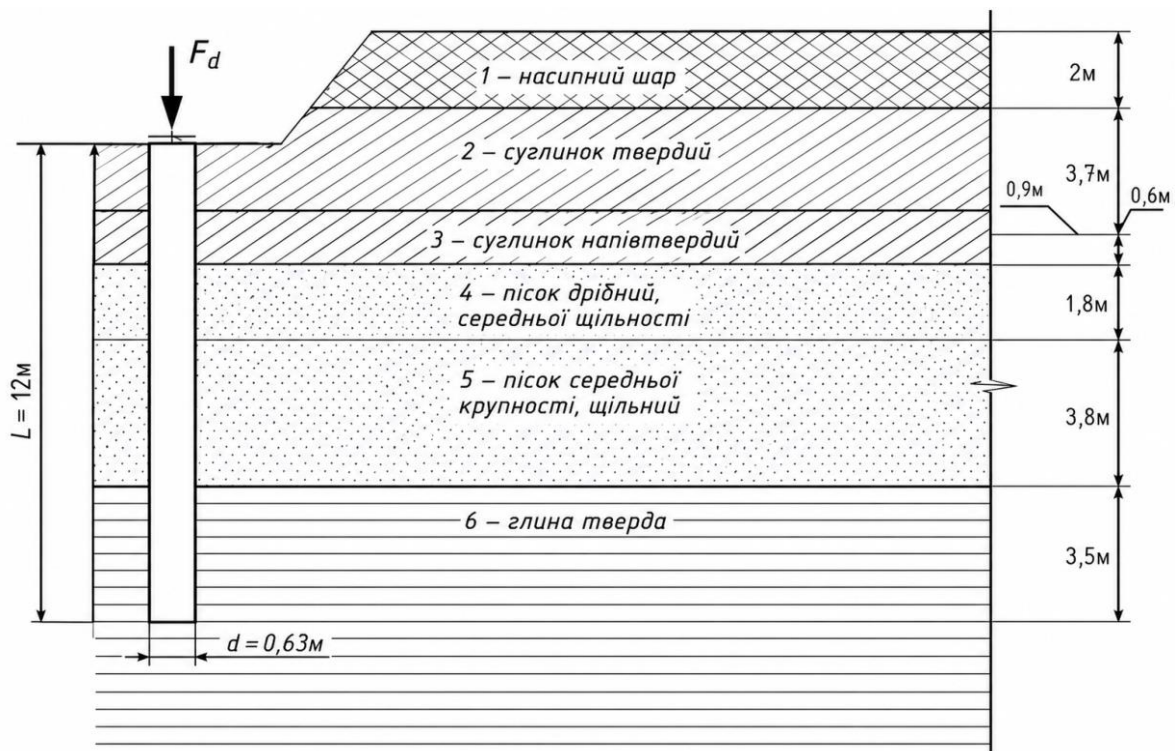


Рисунок 1. – Схема розташування буро набивної палі у ґрунтовому масиві
Джерело рисунка: розробка авторів Записова Д.В. і Колесника А.В.

Результати числового прогнозування за МГЕ несучої спроможності буронабивної палі до осідання $S = 6$ см подано на рис. 2.

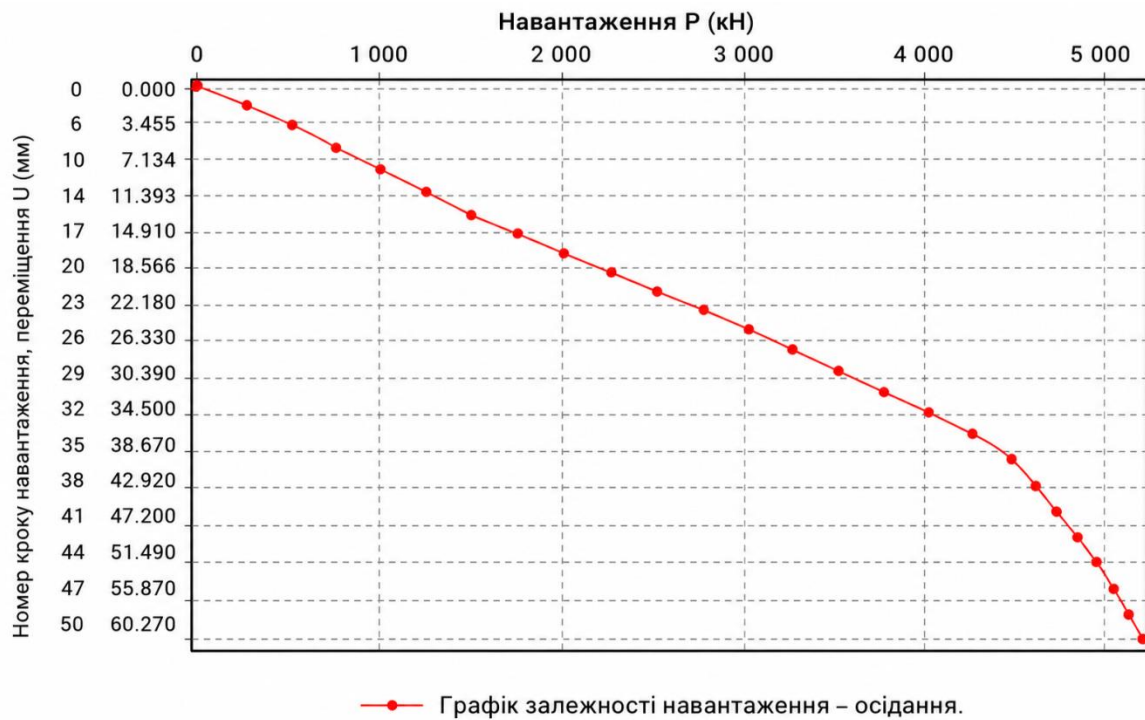


Рисунок 2. – Результати числового моделювання за МГЕ несучої спроможності буро набивної палі $L = 12$ м

Джерело рисунка: розробка авторів Моргун А.С. і Колесника А.В.

Данні числового дослідження за МГЕ порівнювались з результатами експериментальних досліджень палі на будівельному майданчику [3] при її осіданні до величини $S = 2$ см, рис. 3.

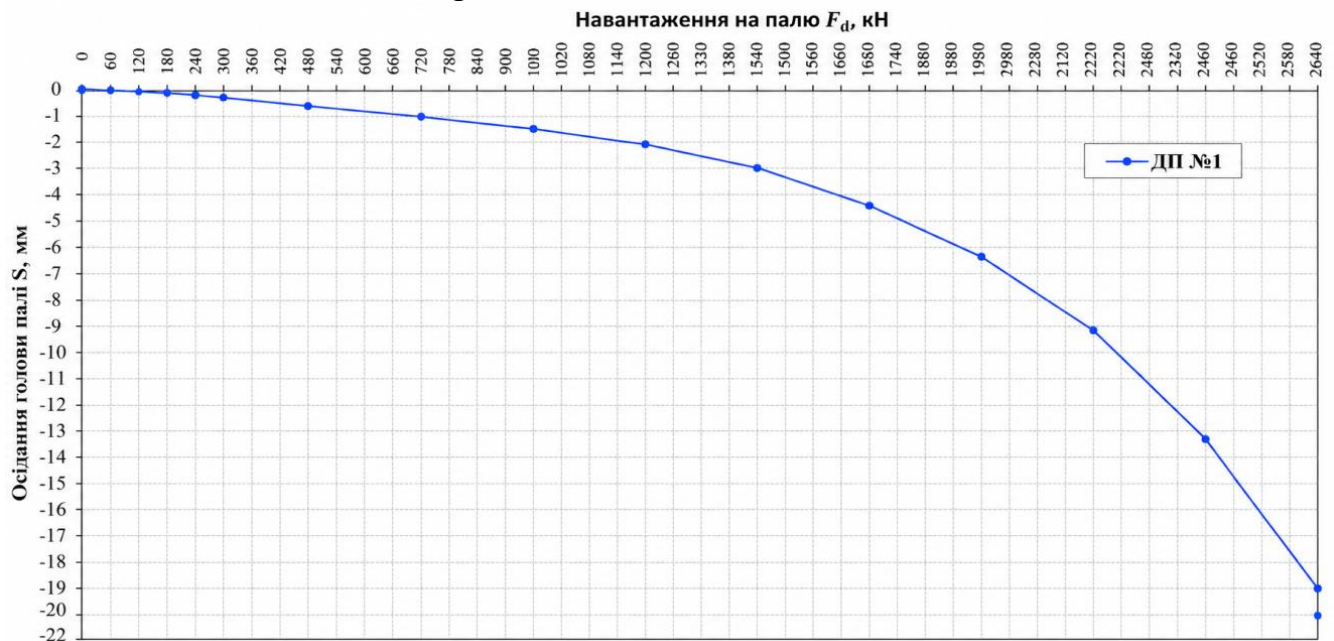


Рисунок 3. – Результати експериментальних досліджень [6] несучої спроможності буро набивної палі $L = 12$ м

Джерело рисунка: розробка авторів Метя І.М. і Колесника А.В.

Порівняльний аналіз результатів числового моделювання із даними польових статичних випробувань підтверджує адекватність запропонованої математичної моделі взаємодії буронабивної палі з нелінійною ґрунтовою основою. Відповідно до результатів експериментальних досліджень (рис. 3), при осіданні палі $S = 2$ см її несуча здатність становить $P = 2640$ кН. Числовий розрахунок, виконаний із застосуванням методу граничних елементів (рис. 2), для аналогічної величини осідання показав значення $P = 2580$ кН.

Абсолютне відхилення між експериментальними та розрахунковими результатами становить 60 кН, що відповідає відносній похибці близько 2,3 %. Такий рівень збіжності свідчить про високу достовірність запропонованої математичної моделі та коректність використаних фізичних передумов щодо опису нелінійної поведінки ґрунтового середовища. Отримані результати підтверджують можливість застосування числового методу граничних елементів для прогнозування напружено-деформованого стану та оцінювання несучої здатності буронабивних паль на всіх етапах навантаження. Крім того, використаний підхід забезпечує можливість дослідження перерозподілу контактних напружень уздовж бічної поверхні та під вістрям палі, що є важливим для оптимізації конструктивних параметрів фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах.

На основі проведених дослідів та числового моделювання можна зробити такі висновки:

- запропонована математична модель, побудована на основі теорії пластичної течії та дилатансійної теорії гранульованих середовищ, адекватно описує процес нелінійного деформування ґрунтів у широкому діапазоні навантажень. Її використання забезпечує достовірне відтворення напружено-деформованого стану ґрунтової основи з урахуванням історії навантаження, розвитку пластичних деформацій та дилатансійних ефектів;

- застосування методу граничних елементів дозволяє виконувати числовий аналіз напружено-деформованого стану ґрунтових основ за межами розрахункового опору із використанням традиційних фізико-механічних характеристик ґрунтів, що визначаються під час інженерно-геологічних вишукувань. Це значно розширює можливості прогнозування роботи фундаментних конструкцій у нелінійній області деформування;

- порівняння результатів числового моделювання з даними польових випробувань засвідчило високу точність запропонованої методики. Розбіжність між експериментально визначеною несучою здатністю буронабивної палі (2640 кН) та результатами розрахунку за методом граничних елементів (2580 кН) не перевищує 2,3%, що підтверджує практичну придатність розробленої моделі для інженерного проектування.

- метод граничних елементів є ефективним інструментом для розв'язання широкого класу задач механіки ґрунтів, пов'язаних із моделюванням взаємодії системи «ґрунтова основа – фундамент». Його використання дозволяє досліджувати вплив геометричних параметрів фундаментів, фізико-механічних

характеристик ґрунтів та режимів навантаження на несучу здатність і деформативність фундаментних конструкцій;

- використання сучасних числових моделей на основі методу граничних елементів створює передумови для оптимізації конструктивних рішень, зниження матеріаломісткості фундаментів, скорочення обсягів дороговартісних експериментальних випробувань і підвищення економічної ефективності проєктування. Запропонований підхід може бути використаний при проєктуванні нових, реконструкції та підсиленні існуючих фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах.

Список літератури

1. C.A. Brebbia, J.C. F. Telles, L.C. Wroubel. BOUNDARY ELEMENT TECHNIQUES, Theory and Applications in Engineering. New York. 1989. <http://www.mymannual.ru/ebooks/technicheskaia>

2. Бойко І.П. Особливості взаємодії плитних фундаментів значних розмірів з ґрунтовою основою. КНУБА. Збірник Основи та фундаменти № 50. 2025. С.9-12.

3. Моргун А. С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів // А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ. – 2013 – 108с.

4. Бойко І. П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / і. П. Бойко, О. В. Сахаров // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково – технічний збірник. – К.: КНУБА. – 2004. – Вип. 28.– С. 3-10.

5. Ніколаєвський В. Н. Дилатансія та закони незворотного деформування ґрунтів / В. Н. Ніколаєвський // Зб. Основи, фундаменти та механіка ґрунтів. – 1979. – № 5. – С. 29-31.

6. Самородов А.В. Полеві дослідження несучої спроможності буроін'єкційних паль при дії висмикуючих та втискуючих навантажень /А.В. Самородов, С.В. Табачников // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34), т. 1. – С. 239-245.

RICH BIODIVERSITY AS EVIDENCE OF A HEALTHY ENVIRONMENT: THE CASE OF FLORIDA

Poleva Julia,
Ph.D., Visiting Professor
Florida Institute of Technology,
Melbourne, Florida, USA

Biodiversity represents one of the most informative indicators of ecosystem health and environmental stability. The richness and distribution of flora and fauna are closely associated with climatic conditions, habitat integrity, and the long-term balance of ecological processes. Regions characterized by favorable climatic conditions and relatively stable environmental regimes generally support greater biological diversity, higher ecosystem productivity, and more complex trophic interactions. Such ecosystems possess greater ecological resilience because species diversity enhances the capacity of biological communities to maintain ecosystem functions under changing environmental conditions [1].

Climate acts as one of the primary ecological drivers regulating the composition, structure, and functioning of natural ecosystems. Temperature, precipitation patterns, solar radiation, hydrological regimes, and soil characteristics collectively determine the ecological niches available for living organisms [2]. Consequently, biodiversity reflects not only the present environmental conditions but also the evolutionary history of ecosystems shaped by long-term climatic stability.

Living organisms continuously respond to environmental stress through a wide range of adaptive mechanisms. Physiological acclimation, behavioral modifications, phenotypic plasticity, and genetic variability enable species to survive under changing environmental conditions. At the molecular level, stress responses involve alterations in gene expression, metabolic regulation, and biochemical pathways, while over evolutionary timescales natural selection acts upon genetic variation, promoting adaptations that increase survival and reproductive success [3, 4].

Mutation constitutes an essential component of evolutionary processes by generating genetic diversity upon which natural selection operates. Although mutations arise naturally, environmental stressors may influence selective pressures, favoring individuals possessing adaptive characteristics that improve ecological fitness. Thus, biodiversity is continuously shaped through the interaction of climatic factors, environmental conditions, and evolutionary mechanisms (photo 1).



Photo 1. Nature's Delicate Masterpiece – *Plumeria* (the author's personal development)

However, contemporary ecosystems are increasingly influenced by anthropogenic activities. Habitat fragmentation, urbanization, industrial pollution, agricultural intensification, invasive species, and climate change have significantly altered natural ecological processes worldwide [5]. Unlike many natural environmental fluctuations that occur gradually over evolutionary timescales, anthropogenic disturbances often develop rapidly, reducing the capacity of ecosystems to adapt while accelerating biodiversity loss.

Flora and fauna respond differently to these disturbances depending on their ecological specialization and adaptive potential. Sensitive species frequently exhibit reductions in abundance, reproductive success, and geographic distribution, whereas ecologically tolerant organisms may expand their ranges or occupy newly disturbed habitats [6]. These shifts alter community composition, trophic relationships, and ecosystem functioning, ultimately transforming the structure and stability of biological systems (photo 2).



Photo 2. Living Symbols of Florida's Biodiversity (the author's personal development)

Plant communities play a particularly significant role in ecological adaptation and ecosystem recovery. As primary producers, plants regulate nutrient cycling, improve soil quality, stabilize microbial communities, provide habitat for wildlife, and contribute to the natural remediation of contaminated environments.

Consequently, vegetation serves not only as a structural component of ecosystems but also as an effective biological indicator of environmental quality and ecological resilience [7].

The response of biodiversity to environmental stress reflects the dynamic relationship between climate, ecosystem processes, and human activity [8]. Monitoring changes in species diversity, population structure, community composition, and ecological interactions provides valuable information regarding ecosystem health and enables the development of scientifically based restoration and conservation strategies.

Understanding these ecological mechanisms has become increasingly important under current conditions of global environmental change. Protecting biodiversity requires not only the conservation of individual species but also the preservation of ecological interactions, habitat connectivity, and the natural processes that sustain ecosystem resilience [9]. Integrating ecological monitoring, biodiversity assessment, soil science, and restoration ecology provides an effective scientific framework for developing sustainable environmental management strategies.

Therefore, biodiversity should be regarded not only as a measure of biological richness but also as a comprehensive indicator of climatic stability, ecological integrity, and the adaptive capacity of ecosystems facing both natural and anthropogenic environmental change.

Florida's Natural Heritage: Biodiversity as a Reflection of Ecological Stability and Environmental Change Florida represents one of the most remarkable natural

laboratories for studying the relationship between climate, biodiversity, and ecosystem resilience. Its unique geographic position between temperate and subtropical climatic zones, together with an extensive network of wetlands, estuaries, coastal forests, freshwater marshes, mangrove communities, and barrier islands, has created conditions that support an exceptional diversity of life (photo 3).



Photo 3. Basking Turtles: Indicators of a Healthy Freshwater Ecosystem (the author's personal development)

Nature continuously responds to environmental stress. Every organism possesses a certain degree of ecological plasticity that enables adaptation to changing environmental conditions. Plants modify root architecture, physiological processes, and reproductive strategies; microbial communities restructure according to changing soil chemistry; benthic organisms respond rapidly to alterations in sediment composition and water quality; animal populations adjust their behavior, migration routes, and habitat preferences. At the genetic level, natural selection acts upon existing genetic variation, allowing populations with advantageous traits to persist under new environmental conditions [10, 11]. These adaptive responses illustrate the extraordinary resilience of living systems, while simultaneously revealing the limits beyond which recovery becomes increasingly difficult.

The contrast between healthy and degraded ecosystems illustrates an important ecological principle: biodiversity is not merely the result of favorable climatic conditions but also the consequence of long-term environmental stability. Climate creates opportunities for biological diversity to develop, whereas responsible environmental stewardship determines whether this diversity can be maintained (photo 4)



Photo 4. Protecting One Species, Preserving an Ecosystem (original work by the author)

One of the most valuable lessons provided by Florida's protected ecosystems is that conservation is considerably more effective than restoration. A mature mangrove forest, an intact seagrass meadow, or a naturally functioning wetland represents the outcome of centuries of ecological development [12]. Although restoration ecology has made tremendous scientific progress, recreating the structural complexity, biological diversity, and ecological functions of mature ecosystems remains an exceptionally slow and challenging process.

For environmental scientists, biodiversity therefore serves as far more than a catalog of species. It represents a sensitive biological indicator that reflects the cumulative influence of climate, geological history, ecological interactions, and human activity. Every change in species composition, vegetation structure, soil characteristics, microbial diversity, or benthic community organization records an ecological response to environmental change [13].

The future of ecosystems such as the Indian River Lagoon depends not only on scientific knowledge but also on society's willingness to recognize that environmental protection is fundamentally an investment in ecological resilience. Healthy ecosystems sustain biodiversity, improve water quality, regulate climate, protect coastlines, support fisheries, and enhance human well-being. Preserving these natural systems before irreversible degradation occurs is therefore not only an ecological responsibility but also an economic and social necessity.

Perhaps the most compelling lesson offered by Florida's protected ecosystems is the extraordinary adaptability of living organisms. Environmental stress triggers numerous adaptive responses, including physiological acclimation, shifts in reproductive strategies, behavioral modifications, and changes in species distribution. Over longer evolutionary timescales, natural selection favors genetic traits that enhance survival under new environmental conditions. Nevertheless, the current rate of anthropogenic environmental change often exceeds the capacity of many species to adapt [14]. Evolution requires generations; habitat destruction may occur within years.

Plants frequently provide the earliest indicators of ecological change. Variations in vegetation structure, species composition, productivity, and phenology often precede visible declines in animal populations. Similarly, soil microorganisms and benthic invertebrates respond rapidly to environmental disturbances, making them valuable biological indicators of ecosystem health [15]. These organisms continuously "record" environmental change, reflecting alterations in nutrient availability, pollution, hydrological conditions, and habitat quality long before ecosystem degradation becomes obvious.

The contrast between protected ecosystems and disturbed landscapes demonstrates that biodiversity should not be viewed merely as a measure of species richness. Rather, it represents the functional capacity of ecosystems to maintain stability, recover from disturbance, and sustain ecological processes under changing environmental conditions [16]. Every species contributes to ecosystem resilience, and the loss of even seemingly inconspicuous organisms may weaken ecological networks in ways that become apparent only decades later.

The Indian River Lagoon therefore represents far more than a regional environmental concern. It serves as a living model illustrating both the resilience and vulnerability of natural ecosystems. It reminds us that biodiversity is not an inexhaustible resource but the cumulative product of millions of years of evolution. Once ecological interactions are disrupted beyond critical thresholds, restoration becomes increasingly difficult, costly, and time-consuming [17].

The preservation of Florida's protected ecosystems and the restoration of the Indian River Lagoon should therefore be regarded not simply as conservation initiatives but as investments in ecological sustainability, climate resilience, and the long-term stability of natural systems. The greatest lesson that these ecosystems offer is both scientific and philosophical: nature possesses an extraordinary capacity for recovery, but only when human activity shifts from exploitation toward stewardship. The future of biodiversity depends not on our ability to control nature, but on our willingness to understand its complexity, respect its resilience, and preserve the ecological processes upon which all life depends.

Ultimately, protected areas throughout Florida remind us that nature possesses an extraordinary capacity for resilience, adaptation, and renewal. Nevertheless, they also demonstrate that resilience has ecological limits [18,19]. The greatest challenge facing modern environmental science is not simply understanding how ecosystems recover after disturbance, but ensuring that they never cross the thresholds beyond which recovery is no longer possible.

References

1. Poleva J. L., Polev M. D. (2024) «Lace Miracle», lichens as an indicator of the ecological situation using the example of Turkey Creek, Florida. Ecology and noospherology, Oles Honchar Dnipro National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 35 (1), 66 -71.
2. Ju. Poleva, M. Polev The importance of environmental research for science-based and multifaceted climate change action// The 5th International and practical conference “Problems of science development in the context of global transformations” (October 01 – 04, 2024) Zagreb, Croatia. International Science Group. 2024. pp. 26 – 28.
3. Poleva Ju. L. (2024) Life is like a reservoir into which a scientist who is completely devoted to his work plunges. Studies in History and Philosophy of Science and Technology. Oles Honchar Dnipro National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 32 (2), 125 – 131.
4. Julia Poleva Connection of information communication with the ecological installation //The 17th International scientific and practical conference “Trends in the development of science in the digital transformations” (April 29 – May 02, 2025) Milan, Italy. International Science Group. 2025. 46. <https://isg-konf.com/trends-in-the-development-of-science-in-the-digital->
5. Poleva Ju., M. Polev Factors for the formation of theory and methodology for teaching ecology//The 15th International scientific and practical conference “New knowledge: strategies and technologies for teaching young people” Lisbon, Portugal. International Science Group. 2024. pp. 36 – 41.
6. Julia L. Poleva Aspects of the formation of ecological knowledge and skills for students majoring in ocean engineering, marine science, biomedical and chemical engineering //The 11th International scientific and practical conference “Advanced technologies for the implementation of educational initiatives” Boston, USA. International Science Group. 2024. pp. 26 – 28.
7. Poleva Julia (2025) Research work as a part of modern teaching technologies. The 5th International scientific and practical conference “Problems of students in universities and new ways of solving them” (February 04–07, 2025) Paris, France. International Science Group. 2025. 15 – 16.
8. Julia Poleva Features of the process of forming students’ interest in studying biology (2025) //The 8th International scientific and practical conference “Modern pedagogical technologies and innovative methods” (February 25 – 28, 2025) Seville, Spain. International Science Group. 2025. 24 – 27.
9. J. Poleva, N. Bilova The use of innovative methods and trends in biological education // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. (September 16 – 19) Hamburg, Germany. 2025. 18 – 21. <https://isg-konf.com/research-on-the-dev>
10. Poleva Julia (2025) Observations of climate changes in the Steppe zone of Ukraine. The 7th International scientific and practical conference “Sociological and psychological models of youth communication” (February 18 – 21, 2025) Copenhagen,

Denmark. International Science Group. 30 – 33. <https://isg-konf.com/sociological-and-psychological-models-of-youth-communication/>

11. Poleva Ju., Polev M. (2024) Climate change and agriculture, some methods of adaptation. The 17th International scientific and practical conference “The latest technologies in the development of science, business and education” (April 30–May 03, 2024) London, Great Britain. International Science Group. p. 43-46.

12. Poleva Ju., Polev M. (2024) Raising student awareness to study and address climate change. The 16th International scientific and practical conference “Innovations in education: problems, prospects and answers to today’s challenges,” (April 23 – 26, 2024), Zagreb, Croatia. International Science Group. 37 – 39. <https://isg-konf.com/innovations-in-educ>

13. Julia Poleva The delicate balance: food chains, ecosystems, and biodiversity//VII International Scientific and Practical Conference «Digital transformation of society: opportunities and challenges», February 17-20, 2026, Milan. 56 – 59.

14. Julia Poleva The ecosystem as a key concept for integrating biological knowledge in the course “Fundamentals of Biology” //VI International Scientific and Practical Conference «Current state and trends in the development of science and education», 2026, Bilbao, Spain. 66 – 71.

15. Julia Poleva The role of art-science integration in teaching biological disciplines // The 17th International scientific and practical conference “Technology as an extension of man: the limits of the possible and new paradigms” (April 28 – May 1, 2026) Paris, France. International Science Group. 2026. 75 – 77.

16. Julia Poleva The research-active educator: guiding students toward academic careers //The 8th International scientific and practical conference “Science, technology and innovation: vectors of transformation” (February 24-27, 2026) Berlin, Germany. International Science Group. 2026. 75 – 80.

17. Poleva, J. L. (2020). Characteristics of bottom fauna of small reservoirs of the Steppe zone of Ukraine. Ecology and noospherology. Dnipro, Ukraine, 31(2), 105–107. <https://doi.org/10.15421/032017>

18. Poleva, Ju. (2021). Specific features of pesticide influence on water ecosystems. Trend in the development of modern scientific. Vancouver, Canada, 31, 17–19.

19. Poleva J. (2024) Use of bioindication and biotesting in studying the state of freshwater ecosystems. The 6th International scientific and practical conference “Old and new technologies of learning development in modern conditions” (February 13-16), Berlin, Germany. International Science Group, 1, 40 – 43.

ЯК ІНТЕРАКТИВНА ДОШКА CleverMaths ДОПОМАГАЄ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В ОНЛАЙН- ФОРМАТІ

Малявко Олена Маратівна,
учитель математики вищої категорії,
Криворізький ліцей №107 «Лідер» Криворізької міської ради

Дистанційне навчання вимагає від сучасного вчителя математики не просто трансляції екрана, а створення живого інтерактивного середовища.

Звичайної демонстрації статичних презентацій замало для пояснення складних геометричних побудов чи алгоритмів розв'язання рівнянь. Ефективним розв'язанням цієї проблеми є використання спеціалізованого програмного забезпечення — віртуальної інтерактивної дошки CleverMaths. Вона дозволяє повністю перенести інструментарій традиційного кабінету математики в онлайн-простір.

У цій статті представлено практичний досвід використання CleverMaths та продемонстровано, як за допомогою її конкретних інструментів зробити дистанційний урок наочним і динамічним.

1. Організація віртуального робочого простору та навігація

На відміну від стандартних онлайн-бордів, CleverMaths має спеціалізований предметний режим «Математика». Перше, що оцінить кожен вчитель математики — це можливість відійти від білого порожнього екрана.

Традиційна клітинка: Миттєве ввімкнення фону в клітинку допомагає учням краще сприймати записи, адже візуально копіює їхні робочі зошити. Це значно полегшує адаптацію до онлайн-формату (рис. 1, рис. 2).

Естетика та чіткість запису: Завдяки системі розпізнавання формул, програма автоматично перетворює рукописні знаки у друкований текст (рис. 3). Це критично важливо для учнів, які переглядають уроки з мобільних телефонів.

Наскрізна система гіперпосилань: CleverMaths дозволяє будувати гнучку архітектуру уроку завдяки інтеграції лінків. Учитель може налаштувати швидкі переходи як між різними сторінками (дошками) поточного заняття, так і створювати прямі посилання на локальні файли в комп'ютері чи зовнішні ресурси в мережі Інтернет (інтерактивні тести, відеоуроки, онлайн-підручники). Це перетворює віртуальну дошку на єдиний логічний хаб заняття й усуває потребу постійно перемикатися між різними вікнами програм (рис. 4).

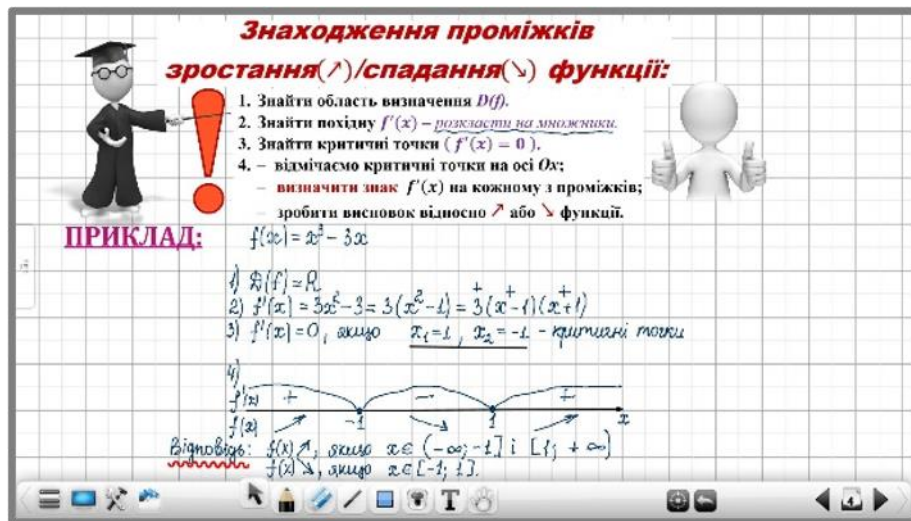


Рисунок 1. Дошка CleverMaths. 10 клас. Застосування похідної

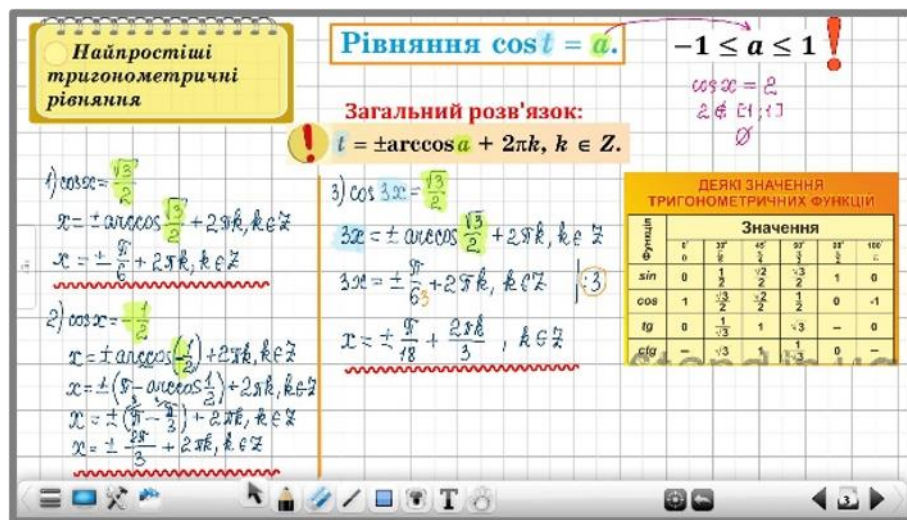


Рисунок 2. Дошка CleverMaths. 10 клас. Найпростіші тригонометричні рівняння

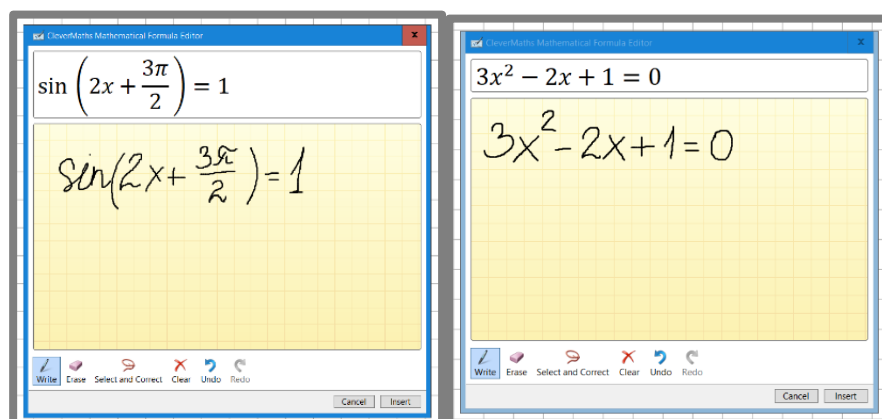


Рисунок 3. Дошка CleverMaths. Інструмент розпізнавання формул

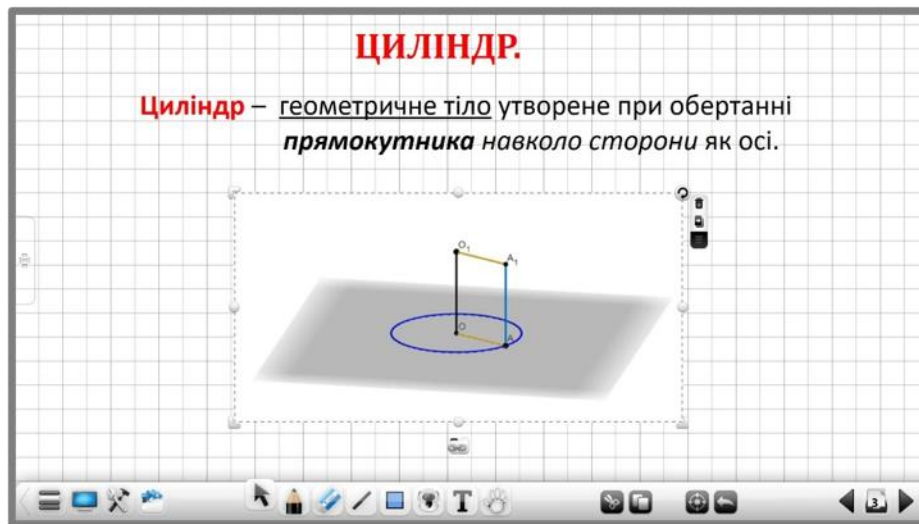


Рисунок 4. Дошка CleverMaths. Гіперпосилання на відео в інтернеті

2. Геометрія без страху: Віртуальне креслярське приладдя

Пояснити побудову фігур за допомогою комп'ютерної миші — складне методичне завдання для вчителя. CleverMaths має повний арсенал цифрових аналогів реальних інструментів (рис. 5).

Робота з лінійкою та циркулем: Інструменти є повністю адаптивними. Лінійку можна обертати під будь-яким кутом, а віртуальний циркуль малює ідеальні дуги заданого радіуса прямо на очах у дітей, унаочнюючи класичні задачі на побудову (рис. 6).

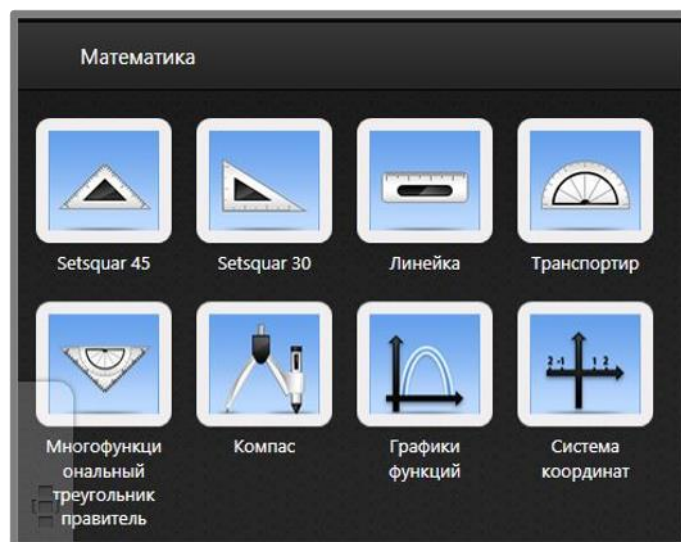


Рисунок 5. Дошка CleverMaths. Інструменти для роботи на уроках

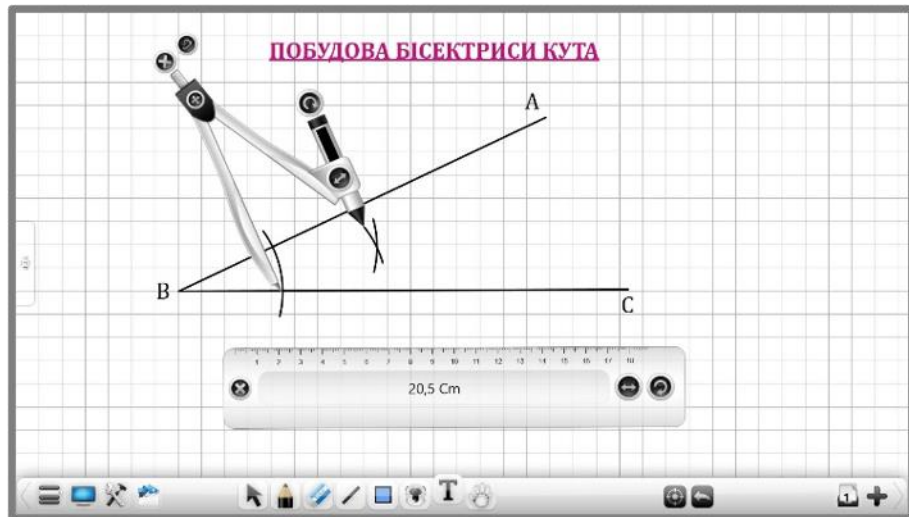


Рисунок 6. Дошка CleverMaths. 7 клас. Основні задачі на побудову

3. Жива алгебра: Динамічні графіки функцій

Алгебраїчний блок мінімізує час на рутинну роботу та виводить наочність на новий рівень.

Автоматична координатна сітка: Учителю більше не потрібно витратити дорогоцінні хвилини уроку на креслення осей Ox та Oy і розстановку одиничних відрізків на площині чи у просторі (рис. 7, рис. 8).

Дослідження функцій: Вводячи формулу, миттєво отримуємо точний графік. Особливо ефективно це працює під час вивчення теми «Перетворення графіків функцій» у 9 класі (рис. 9): учні наочно бачать, як змінюється положення параболи $y=(x+a)^2+b$ залежно від зміни коефіцієнтів.

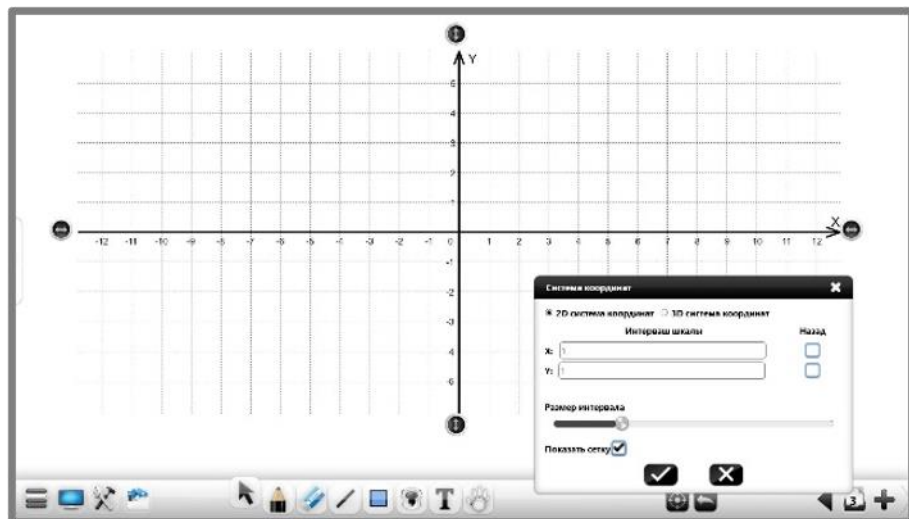


Рисунок 7. Дошка CleverMaths. Автоматична координатна сітка на площині

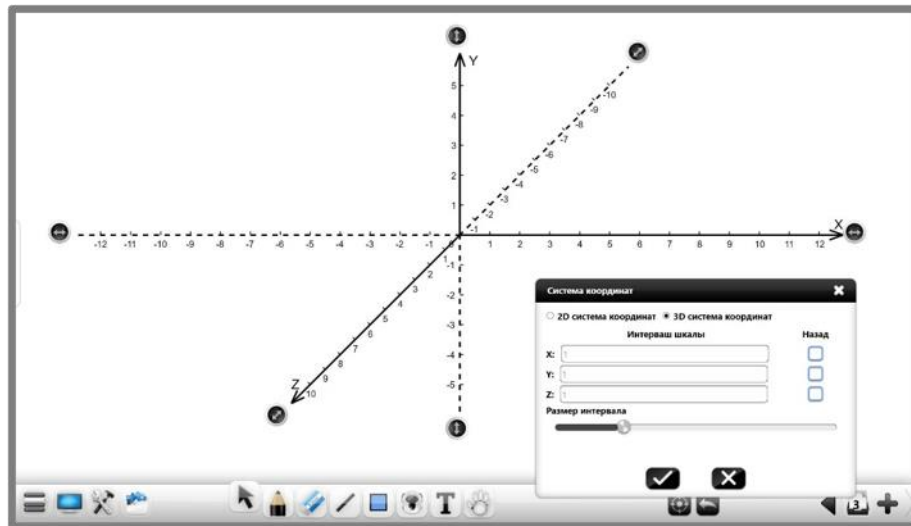


Рисунок 8. Дошка CleverMaths. Автоматична координатна сітка у просторі

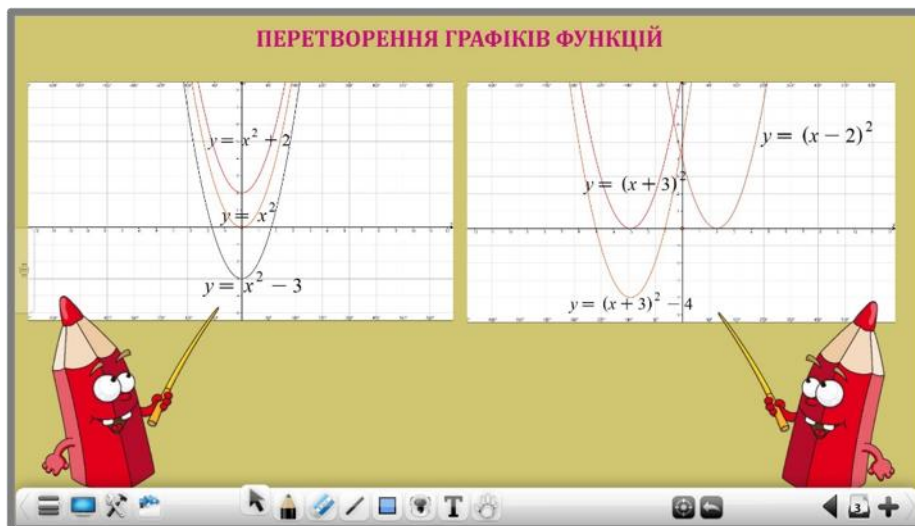


Рисунок 9. Дошка CleverMaths. 9 клас. Перетворення графіків функцій

4. Інструменти залучення уваги під час трансляції (Zoom / Meet)

Щоб утримувати фокус школярів протягом усього онлайн-уроку, доцільно використовувати специфічні опції дошки:

Лазерна ручка: Дозволяє підкреслити проміжний результат або важливу умову. Слід від неї блимає та зникає за кілька секунд, тому екран не засмічується зайвими лініями.

Фігури: Ідеально підходять для швидкого геометричного чи колірного виділення головних формул, визначень або теорем у рамку.

Режим коментування поверх екрана: Дозволяє відкрити підручник у форматі PDF або презентацію та писати розв'язок прямо поверх друкованого тексту завдання (рис. 10). Це допомагає розбирати вправи зі збірників у реальному часі.

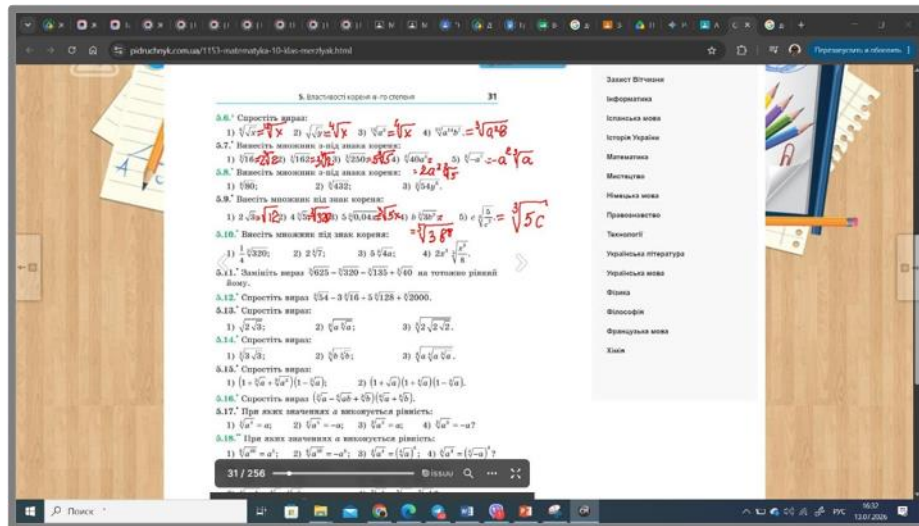


Рисунок 10. Дошка CleverMaths. Режим коментування поверх екрана

5. Асинхронна підтримка та збереження матеріалів уроку

Важливою перевагою платформи є можливість забезпечення якісного зворотного зв'язку з учнями, зокрема з тими, хто не зміг долучитися до онлайн-трансляції через технічні причини або не встиг зафіксувати записи у зошитах.

Експорт у PDF: Після завершення заняття всі створені робочі дошки (зі збереженням клітинки, графіків, формул та побудов) можна в один клік експортувати у єдиний багатосторінковий документ формату PDF.

Інтеграція з Google Classroom: Згенерований PDF-файл учитель прикріплює до відповідного завдання в Classroom. Це гарантує учням постійний доступ до конспекту уроку, суттєво спрощує виконання домашньої роботи та допомагає під час самостійного опрацювання пропущеного матеріалу (особливо є важливим для учнів, які знаходяться за кордоном) (рис. 11).

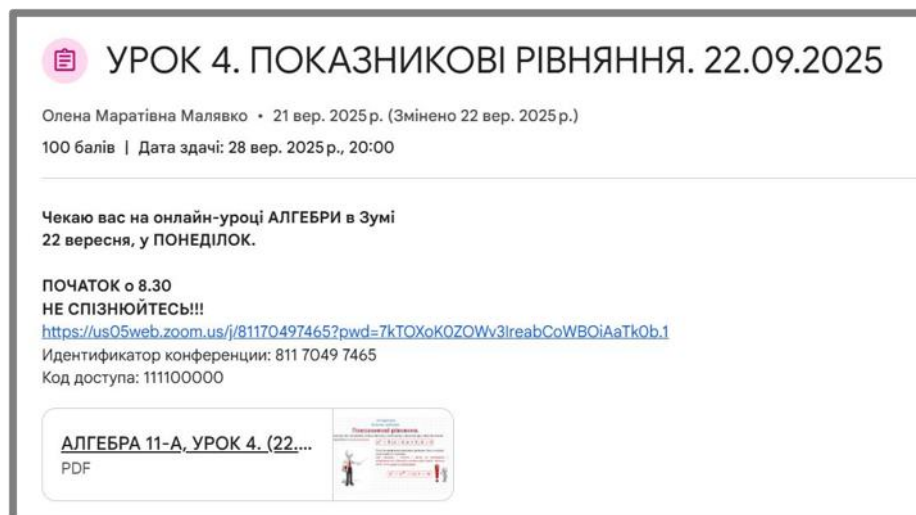


Рисунок 11. Classroom. 11 клас

Власна педагогічна практика доводить: інтерактивна дошка CleverMaths під час дистанційного навчання стає повноцінним цифровим кабінетом математики. Вона не просто економить час учителя на малювання та креслення, а перетворює

абстрактні формули на зрозумілі візуальні моделі. Завдяки цьому учні краще засвоюють матеріал, а рівень їхньої залученості та самостійності в освітньому процесі суттєво зростає.

Список літератури

1. Інструкція користувача програмного забезпечення CleverMaths. Clevertouch Technologies. URL: <http://clevertouch.com.ua> (дата звернення: 11.07.2026).
2. Морзе Н. В., Гладун М. А., Дзюба С. М. Формування цифрової компетентності вчителів природничо-математичних дисциплін в умовах дистанційного навчання. Інформаційні технології і засоби навчання. 2021. Т. 83, № 3. С. 22–38.
3. Триус Ю. В., Герасименко І. В. Електронні освітні ресурси у навчанні математики: світовий досвід та українські реалії. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2022. Вип. 25. С. 45–56.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ В СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРАХ З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ

Літковець Сергій Петрович,

к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики

Національний університет водного господарства та природокористування

Кирильчук Володимир Ігорович,

студент бакалаврату

Національний університет водного господарства та природокористування

В системах електропостачання сучасних виробничих комплексів збільшується частка різкозмінних навантажень та споживання реактивної потужності. Через це набуває зростаючої ваги проблема компенсації реактивної потужності. Статичні тиристорні компенсатори (СТК) реактивної потужності дозволяють реалізувати енергоефективні методи керування реактивною потужністю, стабілізувати напругу і знизити втрати електроенергії.

СТК з прямою компенсацією реактивної потужності складні в схемній конфігурації [1], мають низьку перевантажувальну здатність [2], малий запас за перенапругою [3] та низьку швидкодію [4]. СТК з непрямою компенсацією реактивної потужності дозволяють знизити втрати в електричних мережах та компенсаторах і забезпечити належну швидкодію [5].

Метою дослідження є вдосконалення методів керування реактивною потужністю в статичних тиристорних компенсаторах з примусовою комутацією.

Виконаємо живлення СТК з примусовою комутацією для мереж з компенсованою нейтраллю напругами прямокутної форми від трансформатора з насиченою магнітною системою та визначимо інтегральні показники енергетичного процесу цього компенсатора.

У разі регулювання з зсувом за основною гармонікою реактивна потужність і втрати активної потужності у відносних одиницях будуть рівні:

$$Q^*(\alpha) = \frac{1}{\rho_1 \pi} \left[1 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} + e^{-\rho_0 \alpha} - e^{((\rho_1 - \rho_0)\alpha - \rho_1 \pi)} \right], \quad (1)$$

$$\Delta P^*(\alpha) = \frac{1}{\rho_1 \pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{\rho_1} e^{\rho_1(\alpha - \pi)} + \frac{1}{\rho_1} \ln \left(1 + \left(1 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} \right) \cdot e^{-\rho_0 \alpha} \right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{\rho_1} \left(1 + \left(1 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} \right) \cdot e^{-\rho_0 \alpha} \right) \right]. \quad (2)$$

Для першого варіанту регулювання реактивної потужності без зсуву за основною гармонікою реактивна потужність і втрати активної потужності рівні:

$$Q^*(\alpha) = \frac{1}{\rho_1 \pi} \left[1 - e^{\rho_1(2\alpha - \pi)} + e^{-2\rho_0\alpha} - e^{(2(\rho_1 - \rho_0)\alpha - \rho_1\pi)} \right], \quad (3)$$

$$\Delta P^*(\alpha) = \frac{1}{\rho_1 \pi} \left[\pi - 2\alpha + \frac{1}{\rho_1} e^{\rho_1(2\alpha - \pi)} + \frac{1}{\rho_1} \ln \left(1 + \left(1 - e^{\rho_1(2\alpha - \pi)} \right) \cdot e^{-2\rho_0\alpha} \right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{\rho_1} \left(1 + \left(1 - e^{\rho_1(2\alpha - \pi)} \right) \cdot e^{-2\rho_0\alpha} \right) \right]. \quad (4)$$

Для другого варіанту регулювання без зсуву за основною гармонікою реактивна потужність та втрати активної потужності будуть рівні:

$$Q^*(\alpha) = \frac{2}{\rho_1 \pi} \left[1 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} \right], \quad (5)$$

$$\Delta P^*(\alpha) = \frac{1}{\rho_1 \pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{\rho_1} \ln \left(2 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} \right) - \frac{2}{\rho_1} \left(1 - e^{\rho_1(\alpha - \pi)} \right) \right]. \quad (6)$$

За виразами (1) – (6) на рис. 1 побудовано залежності $Q^*(\alpha)$, $\Delta P^*(\alpha)$, $\Delta P_Q(\alpha)$ СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю для двох методів керування реактивною потужністю.

Реактивна потужність СТК під час його живлення прямокутною напругою для різних методів регулювання практично лінійно залежить від кута керування комутуючими тиристорами α (рис. 1,а), що дозволяє спростити систему керування ними. Найменші втрати активної потужності спостерігаються під час регулювання без зсуву за основною гармонікою за першим варіантом (рис. 1,б, крива 2). В разі збільшення кута керування тиристорами α питомі втрати активної потужності $\Delta P_Q(\alpha)$ зменшуються (рис. 1,в). За певних значень кута α залежно від методу керування ці втрати стають меншими від однойменних втрат базового варіанту $\Delta P_{Qbase} = \rho_1 = 2,318 \cdot 10^{-3}$ (рис. 1,в, пунктир). В цьому разі СТК з примусовою комутацією витрачає на генерування реактивної потужності менше питомої споживаної активної потужності в порівнянні з базовим варіантом (синусоїдне живлення компенсатора).

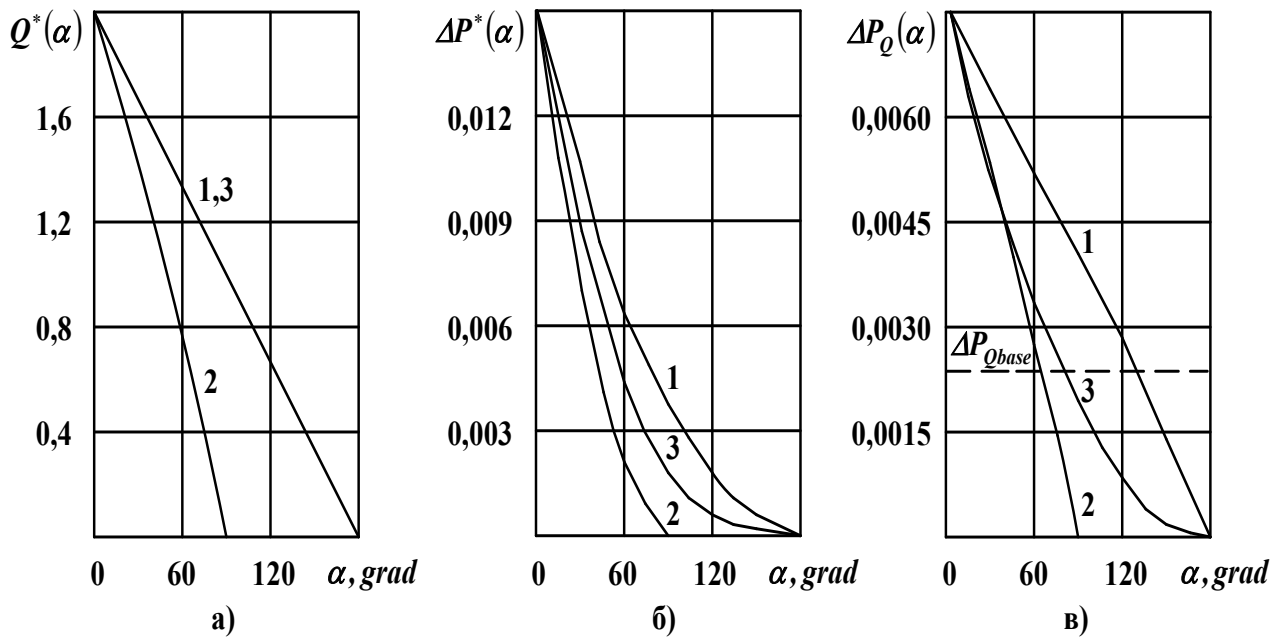


Рисунок 1. Графіки зміни реактивної (а), втрат активної (б), питомих втрат активної (в) потужностей СТК при керуванні: 1 – з зсувом за основною гармонікою; 2,3 – без зсуву за основною гармонікою для 1-го та 2-го варіантів
Джерело рисунка: розробка авторів.

Найбільший діапазон регулювання кута α має СТК у разі керування без зсуву за основною гармонікою за другим варіантом (рис. 1,в, крива 3).

Висновки. Отже, розглянутий компенсатор дозволяє реалізувати енергоефективні методи керування реактивною потужністю, що забезпечує конкурентоздатність цих СТК порівняно з іншими статичними компенсаторами.

Список літератури

1. Rashid, M. H. Power Electronics Handbook. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. 1496 p.
2. Dixon, J., Moran, L., Rodriguez, J., Domke, R. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review. Proceedings of the IEEE, 2005. Vol. 93, № 12. P. 2144–2164.
3. Padiyar, K. FACTS: Controllers in Power Transmission and Distribution. New Delhi : New Age International (P) Limited, Publishers, 2007. 532 p.
4. Hingorani, N., Gyugyi, L. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. New York : IEEE Press, 2000. 452 p.
5. Петухов, М. В., Літковець, С. П. Пат. 69876 UA, МПК G05F 1/70 (2006.01). Пристрій для регулювання реактивної потужності. № у 2011 15153; заявл. 21.12.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. 4 с.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ

Петренко Юрій Антонович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Мета роботи є підвищити ефективність роботи диспетчера транспортного підприємства, на підставі розробки автоматизованого робочого місця диспетчера АТП.

Для реалізації ідеї розподіленого управління необхідне створення для кожного рівня управління і кожної предметної області автоматизованих робочих місць (АРМ) на базі ПК [1, 2]. Аналізуючи сутність АРМ, фахівці визначають їх найчастіше як професійно-орієнтовані малі обчислювальні системи, що розміщені безпосередньо на робочих місцях спеціалістів та призначені для автоматизації їхніх робіт [2, 3]. Для кожного об'єкта управління треба передбачити автоматизовані робочі місця, відповідні їхнім характеристикам і характеристикам, а також для кожного об'єкта. Однак принципи створення АРМ мають бути загальними: системність, гнучкість, стійкість, ефективність.

Згідно з принципом системності АРМ слід розглядати як системи, структура яких визначається функціональним призначенням.

Принцип гнучкості означає пристосованість системи до можливих перебудов завдяки модульності побудови всіх підсистем і стандартизації їхніх елементів.

Принцип стійкості полягає в тому, що система АРМ має виконувати основні функції незалежно від впливу на неї внутрішніх і зовнішніх можливих чинників. Це означає, що неполадки в окремих її частинах мають бути легко переборними, а працездатність системи - швидко відновлюваною [1-3].

Ефективність АРМ слід розглядати як інтегральний показник рівня реалізації наведених вище принципів, віднесеного до витрат зі створення та експлуатації системи.

Функціонування АРМ може дати чисельний ефект тільки за умови правильного розподілу функцій і навантаження між людиною і машинними засобами обробки інформації, ядром яких є ПК. Лише тоді АРМ стане засобом підвищення не тільки продуктивності праці та ефективності управління, а й соціальної комфортності фахівців.

Тепер розглянемо детальніше стан і перспективи розвитку АРМ на базі персональних ПК, а потім торкнемося деяких питань технічного та програмного забезпечення АРМ диспетчера [1-3].

При переході до ринкового господарства підвищуються вимоги споживачів до якості використовуваної ними продукції. Це стосується і транспортних послуг, оскільки підвищення їхньої якості дає змогу зрештою збільшити

ефективність виробництва і відповідно доходи колективів підприємств, які користуються послугами транспорту.

Автомобільний транспорт широко використовується в усіх галузях економіки. Він тісно пов'язаний з усіма елементами виробництва. У країні є велика кількість організацій і підприємств, серед них десятки автотранспортних підприємств; крім того, кожне друге підприємство має власний автопарк або інший структурний підрозділ (цех, гараж). Водночас на підприємствах автотранспорту і на підприємствах, що мають досить великий автопарк, практично немає впроваджених інформаційних систем, облік роботи здійснюється вручну. Наприклад, підприємство веде облік подорожніх листів, які виписуються вручну [4, 5].

На їх підставі видаються: табель обліку робочого часу; зведена відомість нарахування заробітної плати.

Облік витрат пального і запчастин проводиться вручну на відповідних рахунках аналітичного обліку.

Існує потреба в автоматизації обліку роботи автотранспорту та розроблення моделі інформаційної системи [4, 5, 9].

Очевидно, що для вирішення цих завдань фірмові програмні продукти мало придатні. Більшість фірмових програмних продуктів для обліку роботи автотранспортного підприємства цеху являють собою багатокористувацьку систему, яка передбачає створення таких автоматизованих робочих місць (АРМ):

- автоматизоване робоче місце диспетчера;
- автоматизоване робоче місце інженера з праці та заробітної плати;
- автоматизоване робоче місце бухгалтера-економіста;
- автоматизоване робоче місце оператора АЗС;
- автоматизоване робоче місце механіка;
- автоматизоване робоче місце комірника;
- автоматизоване робоче місце комірника;
- автоматизоване робоче місце керівника.

Для такої системи необхідні відповідні апаратні засоби: мережеве обладнання, фірмове програмне забезпечення, спеціальний персонал, який підтримував би роботу інформаційної системи [4, 5, 9].

Причому найважливішими процедурами системи є:

- оперативний облік валового доходу;
- нарахування амортизації автотранспортних засобів;
- контроль над наданням запчастин;
- облік витрат і витрат пального;
- контроль зносу шин;
- нарахування заробітної плати водіям згідно з відпрацьованим часом або відрядно.

Впровадження інформаційної системи обліку роботи автотранспорту дає змогу оперативне враховувати ці важливі параметри роботи автотранспорту, звести до мінімуму втрати часу і транспортні витрати, а отже, знизити ціни на автомобільні перевезення.

Вибір засобів програмного забезпечення автоматизованої системи для АРМ диспетчера АТП. Вибір програмного забезпечення (ПЗ) доцільно здійснювати за сукупністю функціональних, інтеграційних та економічних критеріїв [3, 6, 15].

Для розроблення моделі вибору ПЗ введемо такі позначення:

– множина завдань – $L = \{L_l\}$, які вирішуються в процесі взаємодії всіх підсистем АРМ, $l = \overline{1, l'}$, де l' - число завдань;

– множина програмних засобів (ПЗ) – $P = \{P_{i'}\}$ ($i' = \overline{1, i'}$), де i' – число ПЗ, кожне з яких забезпечує реалізацію функціональної підзадачі або їхніх груп $P_i = \{P_{il}\}$.

Введемо змінну $X_i = \{0;1\}$, де $X_i = 1$ - якщо вибрано i -е ПЗ, $X_i = 0$ – в іншому випадку.

Введемо коефіцієнт $Y_{il} = \{0;1\}$, де $Y_{il} = 1$, якщо l -те функціональне завдання забезпечено i -м ПЗ, $Y_{il} = 0$ в іншому випадку.

Кожне ПЗ характеризується низкою показників [94]:

- функціональні (група реалізованих функціональних завдань):

1) необхідний обсяг оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП) – $P_i^{ОЗП}$;

2) необхідний обсяг постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) – $P_i^{ПЗП}$;

3) необхідна тактова частота мікропроцесора – $T_i^{TЧ}$;

4) необхідна роздільна здатність монітора – R_i^M ;

5) необхідний обсяг відеопам'яті – $V_i^{ВП}$;

– інтеграційні:

1) що визначають сумісність i -го ПЗ з j -м ПЗ у вигляді коефіцієнта $S_{ij} = \{0;1\}$, де $S_{ij} = 1$, якщо i -е ПЗ сумісно з j -м ПЗ, інакше $S_{ij} = 0$;

2) що визначають взаємозамінність i -го ПЗ на j -е ПЗ у вигляді коефіцієнта $V_{ij} = \{0;1\}$, де $V_{ij} = 1$, якщо i -е ПЗ замінно j -м ПЗ, інакше $V_{ij} = 0$;

– витратні у вигляді витрат на: купівлю – $Z_i^П$; інсталяцію – $Z_i^И$; технічну підтримку – $Z_i^{T.П}$; обслуговування – Z_i^O ; приведені витрати – Z_i .

Наведені витрати – це узагальнений показник, який враховує витрати на купівлю – $Z_i^П$ і сумарні експлуатаційні витрати: на інсталяцію – $Z_i^И$, технічну підтримку – $Z_i^{T.П}$ і обслуговування – Z_i^O

$$Z_i = Z_i^И + Z_i^{T.П.} + Z_i^O + \eta \cdot Z_i^П, \quad (1)$$

де η – нормативний коефіцієнт окупності, $\eta = 1/T$; T – період окупності.

Таким чином усі перелічені витрати зводимо до приведених витрат за адитивним узагальненим критерієм.

Вибір набору програмних засобів під час проектування АРМ організаційної системи здійснюють за такими критеріями:

– мінімальні наведені витрати на ПЗ – $Z_{ПЗ}$;

– мінімальний необхідний обсяг пам'яті ОЗП усіх ПЗ – $P_{ПЗ}^{ОЗП}$;

– мінімальний необхідний обсяг пам'яті ПЗП – $P_{ПЗ}^{ПЗП}$;

– мінімальна тактова частота мікропроцесора – $T_{ПЗ}^{TЧ}$;

– мінімальний обсяг відеопам'яті - $V_{ПЗ}^{ВП}$;

– мінімальна необхідна роздільна здатність монітора, що вимагається - $R_{ПЗ}^M$.

Математична модель вибору ПЗ має такий вигляд.

Часткові критерії оптимізації:

– мінімальні наведені витрати на ПЗ

$$Z_{по} = \sum_{i=1}^{i'} Z_i \cdot X_i; \quad (2)$$

– мінімальний необхідний обсяг пам'яті ОЗП усіх ПЗ

$$П_{ПЗ}^{ОЗП} = \min \sum_{i=1}^{i'} П_i^{ОЗП} X_i; \quad (3)$$

– мінімальний необхідний обсяг пам'яті ПЗП

$$П_{ПЗ}^{ПЗП} = \min \sum_{i=1}^{i'} П_i^{ПЗП} X_i; \quad (4)$$

– мінімальна тактова частота мікропроцесора

$$T_{ПЗ}^{Tq} = \min \sum_{i=1}^{i'} T_i^{Tq} X_i; \quad (5)$$

– мінімальна необхідна роздільна здатність монітора, що вимагається

$$R_{ПЗ}^M = \min \sum_{i=1}^{i'} R_i^M X_i; \quad (6)$$

– мінімальний обсяг відеопам'яті

$$V_{ПЗ}^{ВП} = \min \sum_{i=1}^{i'} V_i X_i. \quad (7)$$

Область допустимих рішень визначається обмеженнями:

1) усі функціональні завдання мають бути забезпечені ПЗ

$$\sum_{i=1}^i Y_{il} X_i \geq 1, l = \overline{1, l'}; \quad (8)$$

2) витрати на купівлю, інсталяцію, технічну підтримку, обслуговування, а також наведені витрати на ПЗ повинні не перевищувати заданих $Z_3^{\Pi}, Z_3^{\Pi}, Z_3^{T.\Pi.}, Z_3^O, Z_3$

$$\sum_{i=1}^i Z_i^{\Pi} X_i \leq Z_3^{\Pi}, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^i Z_i^{\Pi} X_i \leq Z_3^{\Pi}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^i Z_i^{T.\Pi.} X_i \leq Z_3^{T.\Pi.}, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^i Z_i^O X_i \leq Z_3^O, \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^i Z_i X_i \leq Z_3; \quad (13)$$

3) з підмножин M_i взаємозамінних ПЗ має бути обрано тільки одну ПЗ

$$\sum_{j \in M_i} V_{ij} X_j = 1, i = \overline{1, i'} \quad \forall V_{ij} = 1, j \in M_i; \quad (14)$$

4) усі обрані ПЗ мають бути сумісними

$$S_{ij} X_i X_j = 1; \quad i = \overline{1, i'-1}; \quad j = \overline{i+1, i'}; \quad \forall S_{ij} = 1; \quad (15)$$

5) необхідний обсяг загальної пам'яті ПЗП ПЗ повинен не перевищувати заданого $\Pi_3^{ПЗП}$

$$\sum_{i=1}^i \Pi_i^{ПЗП} X_i \leq \Pi_3^{ПЗП}; \quad (16)$$

6) необхідний обсяг ОЗП має бути не більшим за заданий $\Pi_3^{ОЗП}$:

$$\Pi_i^{ОЗП} X_i \leq \Pi_3^{ОЗП}, i = \overline{1, i'}, \quad (17)$$

де

$$\Pi_3^{O3\Pi} = \max_{i=\overline{1,i'}} \left\{ \Pi_i^{O3\Pi} \right\};$$

7) необхідна тактова частота ПЕОМ має бути не більшою за задану T_3^{Tq} :

$$T_i^{Tq} X_i \leq T_3^{Tq}, i = \overline{1,i'}, \quad (18)$$

де

$$T_3^{Tq} = \max_{i=\overline{1,i'}} \left\{ T_i^{Tq} \right\}.$$

Наведена математична модель (1) - (18) належить до задачі багатокритеріального дискретного програмування [7; 8; 14].

Таким чином, запропоновано узагальнену модель вибору ПЗ, яка дає змогу залежно від функціонального призначення АРМ організаційної системи обирати ефективний комплекс програмних засобів за заданими критеріями та обмеженнями.

Результати розв'язання задачі вибору ПЗ є вихідними даними для розв'язання задачі вибору апаратно-технічного забезпечення.

Список літератури:

1. Балалаєв О. Ф., Кузьменко О. В. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2021. 312 с.
2. Білощицький А. О., Тесленко П. О. Інформаційні технології управління проектами та організаціями. Київ : КНУБА, 2020. 264 с.
3. Говорущенко Т. О. Управління якістю програмного забезпечення : монографія. Хмельницький : ХНУ, 2018. 420 с.
4. Коваленко В. В., Доля В. К. Інформаційні системи в логістиці та на транспорті. Харків : ХНАДУ, 2022. 286 с.
5. Транспортна логістика : підручник / за ред. Є. В. Нагорного. Харків : ХНАДУ, 2021. 512 с.
6. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.
7. Brans J. P., Mareschal B. PROMETHEE methods. In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York : Springer, 2005. P. 163–186.
8. Triantaphyllou E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Dordrecht : Springer, 2000. 320 p.

9. Redmer A. Strategic vehicle fleet management: a joint solution of make-or-buy, composition and replacement problems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2020. Vol. 27, No. 2. P. 327–349. DOI: 10.1108/JQME-04-2020-0026.
10. Izdebski M., Jacyna-Gółda I., Nivette M., Szczepański E. Selection of a fleet of vehicles for tasks based on the statistical characteristics of their operational parameters. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2022. Vol. 24, No. 3. P. 407–418. DOI: 10.17531/ein.2022.3.2.
11. Carnero M. C., Novés J. L. Selection of computerized maintenance management systems to meet organizations' needs using AHP. *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 51. P. 1573–1580. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.219.
12. Tiryaki F., Aydoğan E. Multi-Criteria Evaluation of Transportation Management System (TMS) Software: A Bayesian Best–Worst and TOPSIS Approach. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 17. Art. 7691. DOI: 10.3390/su17177691.
13. Saaty T. L. *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh : RWS Publications, 2008. 345 p.
14. Sommerville I. *Software Engineering*. 10th ed. Boston : Pearson, 2016. 816 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У BMP-ЗОБРАЖЕННЯХ МЕТОДАМИ СТЕГАНОГРАФІЇ

Черниш Юлія Олександрівна,

старший науковий співробітник,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Черниш Єлизавета Сергіївна

студентка
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка Київ, Україна

Терещенко Тетяна Павлівна,

старший науковий співробітник,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

У сучасних інформаційних системах захист конфіденційних даних є важливою складовою забезпечення кібербезпеки. Порушення конфіденційності, цілісності або доступності інформації можуть призводити до фінансових втрат, зниження ефективності діяльності організацій, репутаційних ризиків і створення загроз для критично важливих інформаційних ресурсів. Одним із потенційних способів прихованого передавання даних є використання стеганографічних методів, за яких секретне повідомлення вбудовується у звичайний на перший погляд цифровий об'єкт, наприклад графічний файл.

На відміну від криптографії, що спрямована передусім на захист змісту повідомлення, стеганографія приховує сам факт його передавання. Зображення можуть використовуватися як контейнери для вбудовування текстових даних, оскільки незначні зміни їхніх цифрових параметрів часто є непомітними для користувача. Це створює ризик використання графічних файлів як прихованих каналів передавання інформації та зумовлює необхідність дослідження методів їх виявлення й аналізу.

Метою роботи є дослідження можливості прихованого передавання текстового повідомлення у графічному BMP-файлі та визначення основних ознак, за якими потенційно можна виявити наявність прихованих даних. Для досягнення поставленої мети було сформовано зображення-контейнер, виконано вбудовування текстового повідомлення за допомогою програмного засобу *Xiao Steganography*, а також перевірено можливість його подальшого вилучення.

Для проведення експерименту було обрано графічне зображення у форматі BMP, попередньо підготовлене як файл-контейнер. Вибір BMP-файлу зумовлений його придатністю для експериментального вбудовування текстових даних і подальшого аналізу змін у структурі растрового зображення. Зовні початковий файл не містив видимих ознак прихованих даних і використовувався як звичайне зображення-контейнер.

За допомогою програмного засобу *Xiao Steganography* до обраного BMP-файлу було вбудовано текстове повідомлення “Тестова секретка”, попередньо збережене у файлі *secret.txt*. У процесі створення стеганографічного об’єкта було вибрано контейнер і файл із секретним повідомленням, після чого сформовано новий графічний файл із прихованими даними. За потреби вбудоване повідомлення може бути додатково захищене паролем.

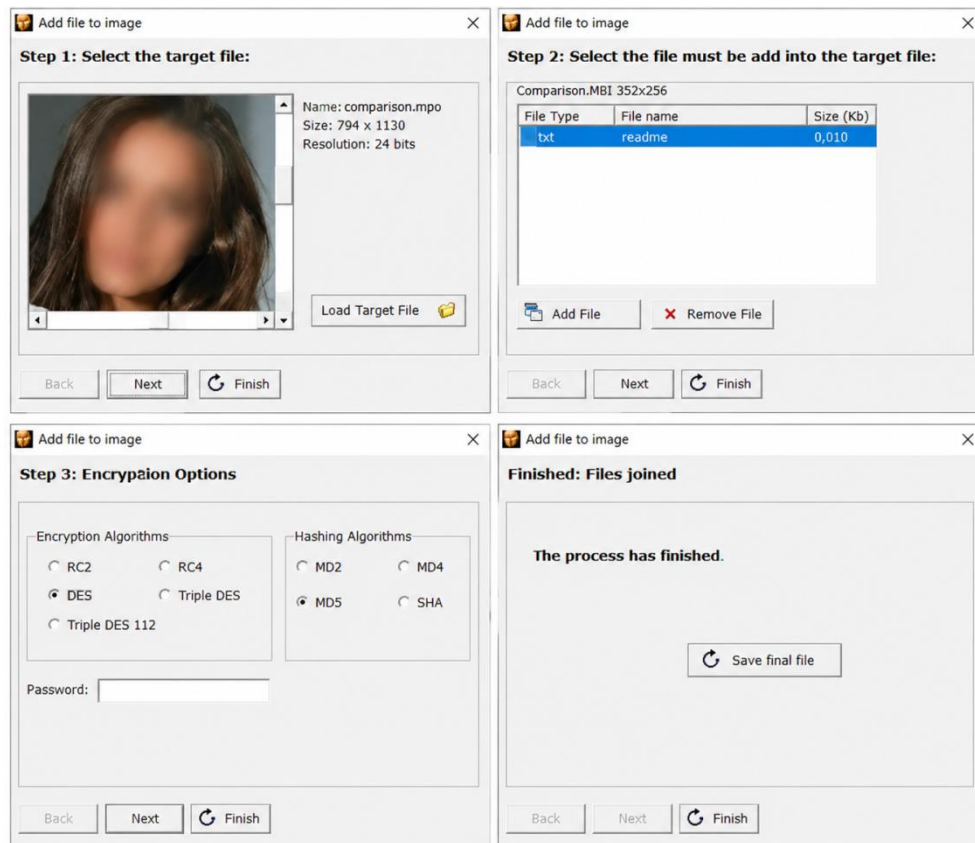


Рисунок 1. Вбудовування текстового повідомлення у BMP-зображення за допомогою Xiao Steganography

Джерело рисунка: сформовано авторами на основі власного дослідження.

Для перевірки коректності вбудовування було виконано вилучення даних зі створеного стеганографічного зображення. За допомогою функції витягування прихованої інформації програмний засіб успішно відновив текстове повідомлення.

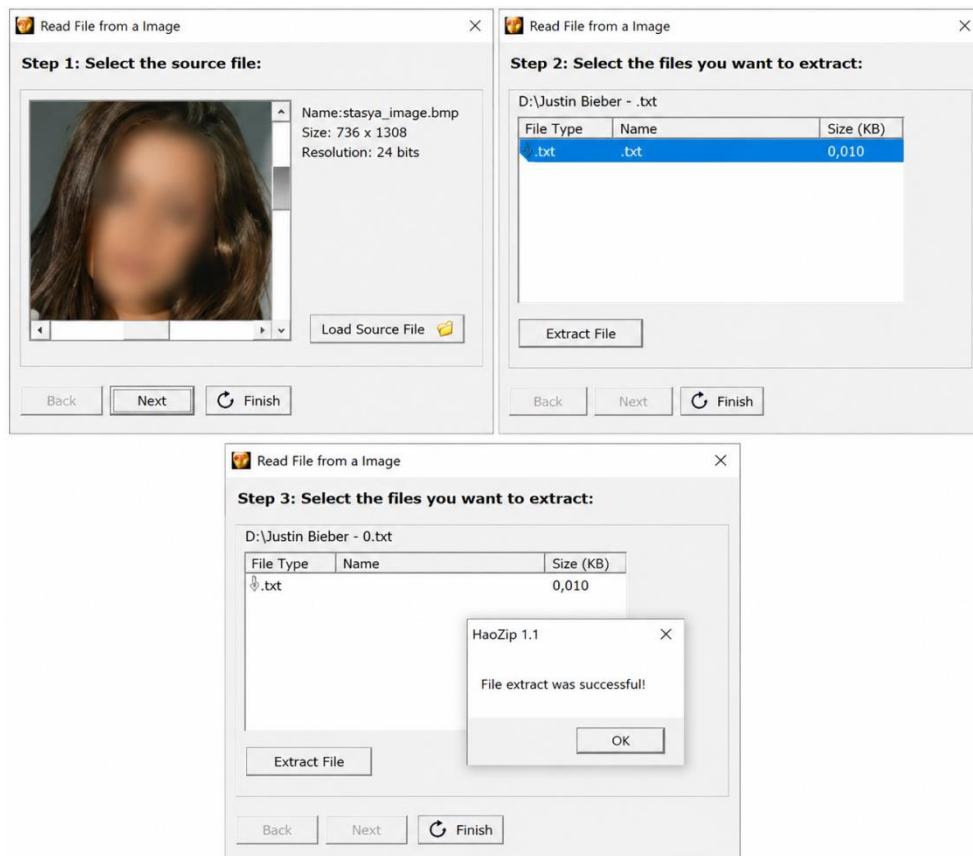


Рисунок 2. Вилучення прихованого текстового повідомлення зі стеганографічного BMP-зображення за допомогою Xiao Steganography

Джерело рисунка: сформовано авторами на основі власного дослідження.

Отриманий результат підтвердив можливість передавання текстових даних у BMP-файлі без помітної зміни його зовнішнього вигляду, що демонструє потенційну можливість використання графічних зображень як прихованого каналу передавання інформації.

Виявлення можливого приховування інформації у графічних файлах потребує комплексного аналізу їхніх структурних і статистичних характеристик. Однією з первинних ознак може бути нетипове співвідношення між розміром файлу, його форматом і роздільною здатністю. Додатково доцільно аналізувати метадані та службові поля зображення, оскільки вони можуть містити відомості про програмні засоби оброблення файлу або інші нетипові параметри. Важливим напрямом є також статистичний аналіз піксельних значень і гістограм кольорів, що дає можливість виявляти аномальні закономірності, характерні для модифікації цифрового контейнера під час вбудовування даних.

Для аналізу BMP-файлів, у яких приховування здійснюється методом заміни найменш значущих бітів, можуть застосовуватися спеціалізовані засоби стеганоаналізу, зокрема *StegExpose*. Такий підхід є доцільним для виявлення можливих ознак *LSB*-стеганографії у графічних файлах без втрат якості, зокрема BMP і PNG. У разі дослідження *JPEG*-зображень можуть використовуватися інші інструменти, наприклад *StegDetect*, орієнтований на виявлення окремих методів приховування у *JPEG*-файлах. Поєднання аналізу розміру файлу,

метаданих, статистичних характеристик і результатів спеціалізованих засобів дає змогу підвищити ймовірність виявлення потенційних прихованих каналів передавання інформації.

У межах дослідження було підтверджено можливість прихованого передавання текстового повідомлення у графічному файлі формату BMP із використанням програмного засобу *Xiao Steganography*. У вибране зображення-контейнер було вбудовано текстове повідомлення “Тестова секретка”, після чого сформований стеганографічний файл дав змогу успішно вилучити приховані дані. При цьому зовнішній вигляд зображення не зазнав помітних для користувача змін.

Отримані результати демонструють, що графічні файли можуть використовуватися як потенційні приховані канали передавання інформації. Це створює ризики неконтрольованого витоку конфіденційних даних, оскільки передавання повідомлень може маскуватися під обмін звичайними зображеннями.

Актуальність дослідження полягає в необхідності своєчасного виявлення можливих каналів прихованого передавання даних у сучасних інформаційних системах. Для зниження відповідних ризиків доцільно застосовувати аналіз структури та розміру графічних файлів, дослідження метаданих, статистичний аналіз піксельних значень і спеціалізовані засоби стеганоаналізу.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на порівняння різних методів вбудовування інформації у графічні контейнери, оцінювання впливу обсягу прихованого повідомлення на статистичні характеристики зображення, а також дослідження ефективності засобів автоматизованого виявлення стеганографічних даних.

Список літератури

1. Черниш Ю. О., Терещенко Т. П., Терещенко К. В. Канали витоку інформації – дослідження та моделювання. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2026. Т. 4, № 32. С. 532–549. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2026.32.1113>.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ІНОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

Євстаф'єв Сергій Миколайович

здобувач освітньо-наукового рівня вищої освіти

Міжнародного університету,

аспірант кафедри менеджменту

Міжнародний університет

Ефективне управління інноваційним розвитком підприємства неможливе без об'єктивного оцінювання результативності інноваційної діяльності, рівня інноваційного потенціалу та здатності підприємства адаптуватися до змін зовнішнього середовища. В умовах діджиталізації економіки значення такої оцінки істотно зростає, оскільки цифрова трансформація змінює не лише характер інноваційних процесів, а й систему показників, що характеризують ефективність діяльності підприємства. Саме тому розроблення та застосування сучасних методичних підходів до оцінювання інноваційного розвитку є одним із ключових напрямів розвитку теорії та практики менеджменту.

У науковій літературі відсутній єдиний універсальний підхід до оцінювання інноваційного розвитку підприємств. Це пояснюється багатогранністю самого поняття інноваційного розвитку, який охоплює технологічні, організаційні, економічні, кадрові, інформаційні та управлінські складові. Відповідно, різні автори пропонують різні критерії оцінювання, що залежать від мети дослідження, галузевої специфіки підприємства, рівня розвитку цифрових технологій та стратегічних пріоритетів.

Науковці Командровська В.Є., Кривицька Н.Ю., та Домашевська К.І. у своїй роботі пропонують системний підхід до оцінювання інноваційних ідей у підприємницькій діяльності, який включає кілька етапів. Спершу аналізуються окремі чинники, що формують потенціал підприємства для реалізації змін. Далі визначається необхідний рівень потенціалу для досягнення стратегічних цілей інноваційного розвитку. Завершальним етапом є обчислення співвідношення між оцінками наявних можливостей підприємства та оптимальними вимогами, що дозволяє оцінити відповідність потенціалу підприємства вимогам інноваційної стратегії [1, с.150-151].

Бортнік Н.В. та Радинський С.В. акцентують увагу на необхідності початкового аналізу інноваційного потенціалу та можливостей підприємства. Вони надають розгорнуту характеристику процесу формування та реалізації інноваційної стратегії промислового підприємства, звертаючи увагу на такі основні аспекти: дослідження потенціалу підприємства для впровадження інноваційних змін та розробки інноваційної стратегії, планування стратегічних альтернативі вибір найефективнішої стратегії, реалізація обраної стратегії інноваційного розвитку, а також контроль і коригування інноваційних змін відповідно до особливостей стратегічного планування [2, с.104-105].

Науковці Глухова С.В. та Кильницька Є.В. аналізують ефективність впровадження інноваційної діяльності на підприємстві визначаючи три види ефективності, які формують її структуру, а саме: економічна, науково-технічна та соціальна ефективність [3, с.137-139].

Сучасні методичні підходи до оцінювання інноваційного розвитку підприємств охоплюють ресурсний, результативний, процесний та інтегральний підходи, кожен із яких характеризує окремі аспекти інноваційної діяльності. Ресурсний підхід оцінює забезпеченість підприємства фінансовими, матеріально-технічними, кадровими, інформаційними та цифровими ресурсами, результативний – досягнуті економічні результати впровадження інновацій, процесний – ефективність управління інноваційними процесами та цифровою трансформацією, а компетентнісний – рівень людського капіталу й цифрових компетентностей персоналу. Найбільш комплексними є інтегральні підходи, які поєднують систему взаємопов'язаних показників, що характеризують ресурсне забезпечення, інноваційну активність, результати інноваційної діяльності, рівень цифровізації, ефективність управління та конкурентоспроможність підприємства, забезпечуючи всебічне оцінювання його інноваційного розвитку.

З розвитком цифрової економіки дедалі більшого значення набувають методики оцінювання цифрової зрілості підприємств (Digital Maturity Assessment). На відміну від традиційних підходів, вони оцінюють не лише результати інноваційної діяльності, а й рівень цифрової трансформації системи управління. До основних критеріїв цифрової зрілості належать рівень автоматизації бізнес-процесів, використання інформаційно-аналітичних систем, інтеграція цифрових платформ, застосування технологій штучного інтелекту, Інтернету речей, великих даних, хмарних сервісів, цифрової взаємодії з клієнтами та кібербезпеки.

Практика міжнародних компаній свідчить, що оцінювання цифрової зрілості дедалі частіше інтегрується із системою стратегічного менеджменту підприємства. Це дозволяє не лише визначити поточний рівень цифрового розвитку, а й сформувати дорожню карту цифрової трансформації, визначити пріоритетні напрями інвестування та оцінити готовність підприємства до впровадження нових технологій.

Важливим напрямом розвитку методичних підходів є використання збалансованої системи показників для оцінювання інноваційного розвитку. Такий підхід передбачає комплексне оцінювання діяльності підприємства за чотирма взаємопов'язаними напрямками: фінансові результати, клієнтська складова, внутрішні бізнес-процеси та навчання й розвиток персоналу. В умовах цифровізації ця система доповнюється показниками цифрової трансформації, цифрової культури, рівня автоматизації управління, кіберстійкості та інноваційної активності.

Останнім часом значного поширення набувають методи багатокритеріального аналізу, економіко-математичного моделювання, факторного аналізу, Data Envelopment Analysis (DEA), нейромережевого моделювання та технологій великих даних. Їх використання дозволяє

враховувати значну кількість взаємопов'язаних факторів, моделювати різні сценарії розвитку підприємства та прогнозувати ефективність реалізації інноваційних стратегій.

На нашу думку, сучасна система оцінювання інноваційного розвитку підприємств повинна ґрунтуватися на комплексному підході, який поєднує оцінювання інноваційного потенціалу, результативності інноваційної діяльності, рівня цифрової трансформації, ефективності системи менеджменту та здатності підприємства до сталого розвитку. Такий підхід забезпечує можливість своєчасного виявлення резервів підвищення ефективності, формування обґрунтованих управлінських рішень і розроблення стратегій інноваційного розвитку відповідно до вимог цифрової економіки.

Отже, сучасні методичні підходи до оцінювання інноваційного розвитку підприємств мають еволюціонувати від аналізу окремих показників до комплексних інтегрованих моделей, які поєднують економічні, організаційні, технологічні та цифрові аспекти функціонування підприємства. Використання таких моделей дозволяє забезпечити більш об'єктивну оцінку рівня інноваційного розвитку, підвищити якість стратегічного управління та створити передумови для формування стійких конкурентних переваг підприємства в умовах діджиталізації економіки.

Список літератури

1. Командровська В.Є., Кривицька Н.Ю., Домашевська К. І. Інноваційний потенціал підприємства та розвиток його складових у посткризовий період. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка*. 2014. Т. 19, Вип. 2(3). С. 148–152.
2. Бортнік Н.В., Радинський С.В. Забезпечення ефективності розвитку підприємствана основі формування і реалізації механізму стратегії його інноваційного розвитку. Інноваційний розвиток промислових підприємств в контексті підвищення ефективності їх діяльності: Монографія за ред. Харіва П.С., Чорного Р.С. Нововолинськ: Бізнес Інтернет Центр, 2015. С. 103-123.
3. Глухова С.В., Кильницька Є.В. Імплементация комплексной системы оцінювання ефективності інноваційної діяльності підприємств будівельної галузі. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. №.1. С. 135-144.

DIGITAL FATIGUE: CURRENT CHALLENGES IN DIGITAL TRANSFORMATION

Dondoladze Khatuna,

PhD, Head of Behavioral science department,
European University (Tbilisi)

Tchipashvili Nino

PhD, Md.
Invited Lecturer

Introduction:

Digital transformation has significantly improved the efficiency of work, learning, and communication. However, the intensive use of modern technology has created a new problem: digital fatigue [1]. This condition is associated with prolonged screen time, excessive information flow [2], constant internet access, and the constant receipt of messages. This results in increased stress levels, decreased concentration, eye strain, and difficulty temporarily disconnecting from the digital environment. Furthermore, electromagnetic radiation emitted by equipment also impacts physiological processes [3-4].

The purpose of this study is to determine the prevalence of digital fatigue among users of different ages and its relationship with screen time and digital device use.

Methods:

The study was conducted using an online questionnaire. The questionnaire included demographic information (age, gender), average screen time, most frequently used device, and questions rated on a five-point Likert scale (1 = strongly disagree; 5 = strongly agree).

Results:

The greatest age categories were 20–30 and 31–40 years old, and women made up the majority of responders. The vast majority of respondents in the study use a smartphone daily, while a few respondents cited a laptop as their primary device.

The most common screen time periods were 2-4, 4-6, and 6-8 hours, although several respondents reported spending more than 8 hours a day in front of a screen (Table 1).

Table 1.
Daily Screen Time Distribution Among Respondents

Daily Screen Time	Percentage of Respondents
Less than 2 hours	5.4%
2–4 hours	32.4%
4–6 hours	24.3%
6–8 hours	18.9%
More than 8 hours	18.9%

The study results indicate that digital fatigue is clearly evident in a significant proportion of respondents.

The study results showed that the majority of respondents feel tired after using digital devices at the end of the day. Furthermore, a large proportion of participants believe that prolonged screen time reduces concentration, while constant notifications and the constant flow of information create additional psychological stress.

Most respondents report frequently needing a break from the digital world and experiencing eye strain after prolonged screen time. A significant proportion of respondents also acknowledged having difficulty disconnecting from digital devices at the end of the day and believe that their constant use increases stress levels.

However, the answers to the last question are mixed: some respondents believe that digital technologies are more beneficial than they are tiring, indicating that the benefits of technology, despite digital fatigue, still play an important role in people's daily and professional lives (Table 2).

Table 2.
Digital Fatigue Indicators Among Respondents (%)

Digital Fatigue Indicator	Respondents (%)
Need for a break from the digital world	59.5%
Eye strain after prolonged screen use	59.5%
Fatigue caused by continuous notifications	56.8%
Increased stress from constant technology use	54.1%
Reduced concentration after long screen time	51.4%
Feeling tired after daily device use	48.6%
Difficulty disconnecting from digital devices	45.9%
Technology helps more than it exhausts	37.8%

Discussion:

Research findings show a direct link between screen time and signs of digital fatigue. The constant flow of information, constant use of social media, and the blurring of boundaries between work and personal life pose particular challenges [5].

Research findings show a direct link between screen time and signs of digital fatigue. Respondents who spend more than eight hours in front of a screen are more likely to report eye strain, decreased concentration, stress, and a desire to take a break from the digital world [6].

However, the study also confirms that digital technology is an integral part of modern life. Therefore, the goal is not to limit technology, but to use it in a healthy and balanced way.

Conclusion:

The findings of the study indicate that one of the most important issues facing the current digital transition is digital tiredness. The majority of respondents use their smartphones as their primary screen for several hours every day. Many report feeling exhausted at the end of the day, experiencing eye strain, having trouble focusing, feeling more stressed, and needing to take a vacation from the digital world.

Respondents do admit, nonetheless, that digital technology greatly make daily life easier. Therefore, the main problem is not to give up on technology but to use it sensibly, in moderation, and with consideration for one's health. In order to enhance future productivity and psychological well-being, organizations, educational institutions, and consumers themselves should focus more on adopting digital well-being practices.

References

1. Human Clarity Institute. Digital Fatigue and Energy: How online life drains—and restores—human energy. Human Clarity Report 2025. Version 3.0. Digital Edition. Based on the Human Clarity Institute Digital Fatigue and Trust Survey (2025) [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 18]. Available from: <https://humanclearity.org>
2. Dhir A, Kaur P, Chen S, Pallesen S. Antecedents and consequences of social media fatigue. *International Journal of Information Management*. 2019;48:193–202. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.021.
3. Dondoladze K, Nikolaishvili M, Museliani T, Jikia G, Nadareishvili D. Effect of electromagnetic field on aggressive and non-aggressive rats' memory. *Systemic, Cellular and Molecular Mechanisms of Physiological Functions and Their Disorders Series*. 2018;43:71–79.
4. Nikolaishvili M, Tarkhnishvili A, Pevadze K, Natadze D, Dondoladze K. Stereotype movement and electromagnetic radiation. In: *The 13th International Scientific and Practical Conference “Problems, Current State and Prospects for Business Development”*; 2025 Apr 1–4; Graz, Austria. International Science Group; 2025. p. 19
5. Fabayo T. Digital well-being: managing screen time and promoting healthy tech habits in families [Internet]. DMC HomeCare; 2025 Apr 16 [cited 2026 Jul 18]. Available from: <https://dmchomecare.com>
6. Piardi L, Leitão P, Queiroz J, Pontes J. Role of digital technologies to enhance the human integration in industrial cyber–physical systems. *Annual Reviews in Control*. 2024;58:100934. doi:10.1016/j.arcontrol.2024.100934.

METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR INTERNAL QUALITY CONTROL IN MOLECULAR GENETIC LABORATORIES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE AND FUTURE DEVELOPMENT PERSPECTIVES

Oradova A.Sh.

Candidate of Medical Sciences, Scientific Laboratory «Center for Collective Use»,
Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Global Laboratory Leadership
Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan

Batyrbaeva D.Zh.

Candidate of Medical Sciences, Head of Clinical Diagnostic Laboratory,
Asfendiyarov Kazakh National Medical University,
Global Laboratory Leadership Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan

Kuatbaeva A.M.

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor,
Director of the Branch «Scientific and Practical Center for Sanitary and
Epidemiological Expertise and Monitoring» of the National Center for Public Health
of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan,
Global Laboratory Leadership Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

This article presents a critical analysis of the internal quality control (IQC) system in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan within the context of the country's integration into the international accreditation framework (ILAC and IAF). The study aims to identify the gap between the existing national regulatory framework, including Order No. KR DSM-59 of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan dated 9 July 2021, and current international requirements for ensuring the analytical reliability of advanced laboratory methods such as polymerase chain reaction (PCR) and next-generation sequencing (NGS). The paper systematizes methodological approaches to assay validation, contamination monitoring, and the application of statistical quality control tools, including Westgard rules and the Six Sigma concept, for optimization of the analytical process. The role of external quality assessment (EQA) programs as a key mechanism for verification of analytical accuracy is substantiated. The study demonstrates the necessity for laboratories in Kazakhstan to participate in international proficiency testing (PT) schemes for PCR and NGS because of the absence of national providers for high-complexity molecular testing. The findings highlight the need to update national laboratory quality standards and harmonize them with ISO 15189:2022 in order to strengthen epidemiological safety

and improve the reliability and clinical predictive value of laboratory results and clinical decision-making.

Keywords: internal quality control, Republic of Kazakhstan, PCR, next-generation sequencing, NGS, ISO 15189:2022, ST RK ISO 15189-2023, Westgard rules, method validation, Q-score.

INTRODUCTION

Ensuring the quality and competence of medical laboratories is one of the fundamental prerequisites for reliable laboratory diagnostics, reduction of clinical risks, and enhancement of patient safety. [1–3]. In the Republic of Kazakhstan, internal quality control (IQC) in medical laboratories is regulated by national legal and regulatory documents governing laboratory diagnostics, including Order No. KR DSM-59 of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan and the national standard for the organization of laboratory diagnostic services [9,11]. However, the rapid development of modern laboratory technologies, particularly polymerase chain reaction (PCR) and next-generation sequencing (NGS), necessitates further refinement of methodological approaches to quality assurance.

Conventional IQC procedures, primarily based on statistical monitoring of quantitative laboratory parameters, remain widely used in clinical laboratories and continue to be effective for biochemical, hematological, and immunological testing [4,17]. Nevertheless, the direct application of these approaches to molecular genetic methods does not adequately address the specific characteristics of molecular workflows, including nucleic acid extraction, amplification, sequencing, bioinformatics analysis, and interpretation of results [6,7,18].

The relevance of the present study is determined by the need to harmonize national IQC procedures with the requirements of ISO 15189:2022 and its identical national adoption, ST RK ISO 15189-2023 [2,3]. The updated standard places greater emphasis on a risk-based approach, traceability, documentation, personnel competence, management of nonconformities, and evaluation of the impact of laboratory processes on the reliability of examination results [14–16].

For laboratories performing molecular genetic testing, these requirements imply a transition from monitoring isolated analytical indicators to implementing a comprehensive quality management system covering all stages of the laboratory testing cycle. Particular importance is attributed to the assessment of the limit of detection (LoD), the limit of quantification (LoQ) for quantitative assays, analytical specificity, reproducibility, contamination control, and the establishment of quality acceptance criteria for NGS data, including base quality scores, sequencing coverage, and alignment quality metrics [6–8,18,19].

An integral component of laboratory quality assurance is external quality assessment (EQA), for molecular genetic testing and NGS applications, EQA programs are particularly important because they facilitate the identification of analytical errors as well as discrepancies associated with sample preparation, bioinformatics analysis, and interpretation of sequencing results [24–28].

The aim of this study was to analyze the current approaches to internal quality control in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan and to compare them with international standards and professional guidelines regarding the application of contemporary molecular diagnostic methods, including PCR and NGS.

MATERIALS AND METHODS

The analysis was based on the regulatory and legal framework of the Republic of Kazakhstan, international and national standards, Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) guidelines, and scientific publications addressing statistical approaches to internal quality control, validation and verification of molecular genetic methods, and quality assurance for next-generation sequencing.

The methodological framework consisted of a structured analytical review of scientific literature and regulatory documents using selected principles of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement to enhance the transparency of literature identification, selection, and analysis.

A systematic literature search was conducted in the international bibliographic databases PubMed, Scopus, and Web of Science. Search strategies were developed using combinations of relevant keywords connected by the Boolean operators AND and OR. Reference lists of the selected publications were additionally screened to minimize the risk of omitting relevant studies. Publications in English, Russian, and Kazakh were considered.

The review included publications issued between 2016 and 2026. This time frame was selected to capture contemporary developments in internal quality control, the transition from ISO 15189:2012 to ISO 15189:2022, and the increasing implementation of next-generation sequencing technologies in clinical laboratory practice.

The inclusion criteria comprised original research articles, review papers, international and national guidelines, standards, and regulatory documents concerning quality management in medical laboratories, the requirements of ISO 15189:2022 and ST RK ISO 15189-2023, statistical quality control methods, validation and verification of molecular diagnostic procedures, PCR, and NGS technologies.

The analytical phase involved a critical comparison of international recommendations with the current regulatory framework of the Republic of Kazakhstan. Particular attention was paid to publications describing traditional IQC approaches, including Westgard rules and Six Sigma metrics, as well as contemporary strategies for quality assurance in molecular genetic testing and next-generation sequencing [4–8,17–23].

RESULTS

The conducted analysis of the studied sources showed that modern approaches to quality assurance in medical laboratory research provide for systematic monitoring of analytical processes, assessment of the stability of the methods used, and management of risks capable of affecting the reliability of results. In this system, IQC functions as

an operational tool for detecting analytical deviations and allows for timely corrective actions before the issuance of test results [1].

In accordance with ST RK ISO 15189-2023, the laboratory must have internal quality control procedures that ensure the monitoring of the validity of research results. Control materials must be fit for the intended use and, as far as possible, react in the analytical system in a manner similar to patient samples [3].

A comparison of the provisions of international documents with the regulatory framework of the Republic of Kazakhstan showed that current regulation provides for the main organizational elements of IQC. At the same time, certain modern approaches to risk-oriented quality management, automated analysis of control data, and early detection of analytical process trends are presented in a limited capacity.

One of the documents regulating internal quality control in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan is Order No. 59-NK of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan [9]. The comparative analysis showed that its provisions predominantly reflect traditional organizational and statistical approaches to IQC, while issues of digitalization in quality control and automated analysis of control data require further methodological detailing.

Statistical Approaches to the Quality Assessment of Analytical Processes

Based on the results of the scientific literature analysis, it was established that when performing quantitative laboratory tests—primarily biochemical and hematological—Westgard rules are widely used to identify random and systematic analytical errors [4, 17]. At the same time, the choice of a statistical control scheme must take into account the characteristics of the specific method, analytical variability, and the allowable analytical error. In the studied international sources, along with traditional Westgard rules, approaches based on the assessment of the analytical performance of the method, including the "Six Sigma" methodology, are considered. For methods with different levels of analytical performance, differentiated IQC strategies can be applied, allowing for more evidence-based planning of control activities [5].

The analysis of the national regulatory framework showed a lack of detailed recommendations on the use of sigma metrics in IQC planning. Consequently, the use of analytical performance indicators for selecting statistical rules and the frequency of control procedures has not yet received a regulatory-approved algorithm.

Features of Quality Control in Molecular Genetic Research

For molecular genetic methods, the establishment of analytical characteristics is of particular importance, including the limit of detection (LoD), and for quantitative methods, the limit of quantification (LoQ). These characteristics are necessary to assess the analytical sensitivity of the method and determine the range of its reliable application [8, 22, 23]. For PCR methods, one of the key elements of analytical process control is the use of internal controls. Analysis of international recommendations showed that the use of appropriate internal controls allows for the evaluation of the efficiency of individual research stages, including nucleic acid extraction, as well as the detection of amplification inhibition, thereby reducing the risk of false-negative results [6, 20].

The analysis showed that national regulatory documents lack a detailed classification of internal controls for PCR and do not establish unified approaches to their application depending on the stage of the analytical process being monitored. This may hinder the unification of quality control procedures across laboratories [9, 11].

Quality Control of Next-Generation Sequencing (NGS)

The analyzed regulatory documents of the Republic of Kazakhstan do not establish unified minimum quality criteria for NGS data, including indicators for nucleotide read quality, depth of coverage, and sequence alignment quality [9, 11].

Analysis of international publications showed that the quality assessment of NGS research is based on a combination of interrelated metrics. The most frequently used include the base call quality, characterized by the Phred quality score (Q-score), the depth and uniformity of coverage of target regions, the percentage of reads successfully aligned to a reference sequence, and genetic variant calling quality metrics [7, 18, 19, 21]. A Q30 score corresponds to a calculated probability of an incorrect nucleotide identification of 1 in 1000 and is widely used as a characteristic of base sequencing quality [7, 18]. However, literature analysis results show that Q30 should not be considered a universal standalone acceptance criterion for NGS research. Requirements for quality indicators should be determined taking into account the platform used, the type of sequencing, the panel under study, and the clinical or laboratory purpose of the method [18, 19, 21]. Depth of coverage is one of the main indicators affecting the ability to reliably identify genetic variants. The required level of coverage depends on the field of application and can vary significantly when identifying hereditary variants, somatic mutations, or low-frequency genetic changes [19, 21].

The synthesis of results from the studied publications allowed for the identification of three main groups of metrics most consistently applied for NGS data quality assessment: base read quality indicators, target region coverage characteristics, and sequence alignment quality indicators [18, 19].

Validation and Verification of Molecular Genetic Research

Analysis of international standards and methodological guidelines showed that quality assurance in molecular genetic research requires a distinction between the processes of method validation, verification of its characteristics upon implementation in a specific laboratory, and subsequent ongoing monitoring of analytical process stability.

CLSI guidelines for nucleic acid research methods provide for the assessment of the analytical characteristics of a method based on its purpose and the type of result obtained [20–23]. The list of evaluated parameters is determined by the research characteristics and may include the limit of detection, and for quantitative methods—the limit of quantification, linearity and measurement range, precision, analytical specificity, interference assessment, and result reproducibility.

For qualitative molecular research, approaches to evaluating analytical characteristics differ from those used for quantitative methods. In particular, the assessment of linearity and LoQ is not a universal requirement for qualitative PCR research. For such methods, the primary importance lies in confirming the limit of detection, evaluating diagnostic and analytical specificity, and assessing the

reproducibility and stability of qualitative results near threshold concentrations [20, 23].

The comparison showed that while national documents in the Republic of Kazakhstan present general requirements for the selection, verification, and validation of laboratory methods, methodological algorithms for evaluating the analytical characteristics of modern molecular genetic research are insufficiently detailed [9–11]. This is especially true for laboratory-developed tests (LDTs) and modified methods, for which the scope of validation studies should be determined by the intended use and potential risks of unreliable results [6]. For NGS, validation must cover not just a single quality indicator, but the entire analytical process—from sample preparation and library construction to sequencing, bioinformatic processing, and final result generation [7, 18, 21].

Thus, the analysis results indicate the need to develop differentiated national methodological approaches for the validation and verification of molecular genetic research, considering the type of method—qualitative, quantitative, or NGS.

Contamination Control in Nucleic Acid Research

Literature analysis showed that preventing contamination is one of the significant elements of quality assurance in nucleic acid amplification-based research. The high analytical sensitivity of amplification methods creates a risk of false-positive results due to the carry-over of target nucleic acids or amplicons, or the contamination of reagents and work areas. To detect potential contamination in molecular research, negative controls are used; their purpose and stage of introduction are determined by the structure of the analytical process. A negative extraction control allows for the evaluation of potential contamination of reagents and the isolation process, while a negative amplification control (No-Template Control) is used to detect contamination during the preparation and execution of the amplification reaction [6, 20].

The analysis of national documents showed that general requirements for the organization of PCR research and the quality assurance of laboratory processes are provided for by the current regulatory framework [9, 11].

External Quality Assessment of Molecular Genetic Research

Analysis results showed that External Quality Assessment (EQA) is an independent element of laboratory performance monitoring and allows for the comparison of research results with those of other laboratories or pre-established assessment criteria [2, 24, 27]. For molecular genetic research, EQA programs must account for the type of method and the nature of the target indicator. In qualitative research, the main focus is the correct identification or absence of the target nucleic acid, whereas for quantitative methods, the comparability of quantitative results is also evaluated [22, 25]. For NGS, EQA has additional features due to the multi-stage nature of the analytical process. Analysis of NGS proficiency testing publications shows that differences between laboratories may be related not only to sequencing characteristics but also to the analytical algorithms and criteria used for assessing genetic variants [18,19, 26, 28]. Comparing international approaches with current practice in the Republic of Kazakhstan indicates the need for further development of national EQA programs for molecular genetic research. In accordance with ISO 15189:2022, a

laboratory must monitor its performance through comparison with the results of other laboratories. In the absence of a suitable EQA program, alternative approaches to inter-laboratory comparison may be used, provided they are justified and correspond to the intended use of the laboratory test [2].

Digitalization of Internal Quality Control

The use of LIS allows for the automated registration of control measurement results, construction of control charts, analysis of indicator dynamics, and detection of established criteria for analytical stability violations. For quantitative methods, automated IQC data analysis can include the construction of Levey–Jennings charts, the application of established statistical control rules, and the generation of warning messages upon detection of bias, trends, or exceeding established control limits [4, 17].

Analysis of the national regulatory framework showed that issues of digital storage, automated processing, and IQC data analysis have not received detailed methodological regulation [9, 10].

The synthesis of the study results showed that further improvement of IQC in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan is linked not only to updating individual statistical procedures but also to the development of a comprehensive risk-oriented quality management model.

CONCLUSIONS

The conducted analysis of international standards, methodological guidelines, and the regulatory framework of the Republic of Kazakhstan showed that the current internal quality control system contains the main organizational mechanisms for monitoring analytical processes.

For nucleic acid amplification methods, a differentiated approach to validation and verification is required depending on the type of research and the nature of the results obtained. For qualitative methods, priority is given to evaluating the limit of detection, analytical specificity, and reproducibility of results, while for quantitative methods, additional evaluation of the limit of quantification, linearity, and measurement range is necessary [8, 20, 22, 23]. NGS quality control should be based on the evaluation of a set of indicators characterizing various stages of the analytical process. Base read quality, depth and uniformity of coverage, alignment characteristics, and variant calling quality must be evaluated considering the platform used, the type of research, and its intended application [7, 18, 19, 21]. The improvement of the national IQC system should be based on the risk-oriented approach provided by ISO 15189:2022 and ST RK ISO 15189-2023 [2, 3].

A promising direction is the development of digital quality control tools and the integration of IQC procedures with Laboratory Information Systems. Developing national EQA programs for molecular genetic research and NGS will expand the possibilities for inter-laboratory result comparison and assessment of individual stages of complex analytical processes. In the absence of available EQA programs, justified alternative forms of inter-laboratory comparison should be provided in accordance with ISO 15189:2022 [2].

Based on the study results, the following priority areas for improving the quality control system in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan have been identified:

1. Updating the national regulatory and methodological framework regarding quality control for molecular genetic research, considering the features of qualitative, quantitative, and NGS methods;
2. Developing differentiated algorithms for the validation and verification of laboratory methods, providing for the assessment of characteristics corresponding to the purpose and type of research;
3. Methodological regulation of the use of internal and negative controls in nucleic acid research, considering the monitored stage of the analytical process;
4. Developing approaches for establishing and documenting NGS acceptance criteria based on a combination of read quality, coverage, alignment, and variant calling indicators;
5. Developing national EQA programs and inter-laboratory comparisons for molecular genetic research and NGS;
6. Integrating statistical quality control tools into LIS, ensuring traceability, preservation, and security of control data;
7. Developing the competencies of laboratory specialists in the field of statistical quality control, validation and verification of molecular methods, assessment of NGS metrics, and interpretation of quality control data.

Thus, the further development of the IQC system in medical laboratories of the Republic of Kazakhstan should be aimed at transitioning from predominantly unified control procedures to a differentiated risk-oriented model that accounts for the purpose of laboratory research, the characteristics of the analytical method, and the features of the technology used. Harmonization of national approaches with ISO 15189:2022, ST RK ISO 15189-2023, and relevant CLSI guidelines can contribute to increasing the comparability and reliability of laboratory results and strengthening the quality assurance system of medical laboratories.

References

1. Plebani M. Quality indicators in laboratory medicine: from theory to practice. Clin Chem Lab Med. 2017;55(3):341–354. [<https://doi.org/10.1515/cclm-2016-0750>] (<https://doi.org/10.1515/cclm-2016-0750>)
2. ISO 15189:2022. Medical laboratories — Requirements for quality and competence. [<https://www.iso.org/standard/76677.html>] (<https://www.iso.org/standard/76677.html>)
3. ST RK ISO 15189-2023. Medical Laboratories — Requirements for Quality and Competence. National Standard of the Republic of Kazakhstan, 2023. https://prg.kz/document/?doc_id=37006046&pos=9;201
4. Westgard JO, Westgard SA. Basic QC Practices: Guidelines for Implementing Statistical Quality Control. 4th ed. Westgard Quality Corporation; 2020. [<https://westgard.com/basic-qc-practices>] (<https://westgard.com/basic-qc-practices>)

5. Coskun A, et al. Six Sigma as a Quality Management Tool: Evaluation of Performance in Laboratory Medicine. 2010. [<https://doi.org/10.5772/9928>] (<https://doi.org/10.5772/9928>)
6. Burd EM. Validation of laboratory-developed molecular assays for infectious diseases. Clin Microbiol Rev. 2010;23(3):550–576. [<https://doi.org/10.1128/CMR.00074-09>] (<https://doi.org/10.1128/CMR.00074-09>)
7. López-Labrador FX, et al. Recommendations for the introduction of metagenomic high-throughput sequencing in clinical virology. J Clin Virol. 2021; 134:104691. [<https://doi.org/10.1016/j.jcv.2020.104691>] (<https://doi.org/10.1016/j.jcv.2020.104691>)
8. CLSI. EP17-A2: Evaluation of Detection Capability for Clinical Laboratory Measurement Procedures. 2nd ed. Clinical and Laboratory Standards Institute; 2017. [<https://clsi.org/standards/products/method-evaluation/documents/ep17/>] (<https://clsi.org/standards/products/method-evaluation/documents/ep17/>)
9. Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. Order No. 59-NQ. *On Approval of the Rules for Internal Laboratory Quality Control and External Quality Assessment (EQA)*.
10. Documented Procedure DP IL NILAS 7.2. *Selection, Verification and Validation of Test Methods*. 2020.
11. Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. Order No. KR DSM-257/2020. *On Approval of the Standard for the Organization of Laboratory Diagnostics in the Republic of Kazakhstan*. 2020.
12. Ahmad-Nejad P, et al. Current and future challenges in quality assurance in molecular diagnostics. Clin Chim Acta. 2021; 519:226–236. [<https://doi.org/10.1016/j.cca.2021.04.019>] (<https://doi.org/10.1016/j.cca.2021.04.019>)
13. Li YY, et al. Contamination assessment for cancer next-generation sequencing: method development and clinical implementation. Arch Pathol Lab Med. 2022;146(2):227–232. [<https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0583-OA>] (<https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0583-OA>)
14. Gupta R, Agarwal R. Translating global standards to local practice: Comparing ISO 15189:2012 and 2022 with implementation insights from NABL 112 in India. J Lab Physicians. 2026. Article in Press. [https://doi.org/10.25259/JLP_316_2025] (https://doi.org/10.25259/JLP_316_2025)
15. Linko S, et al. EN ISO 15189 revision: EFLM Committee Accreditation and ISO/CEN standards analysis and general remarks on the changes. Clin Chem Lab Med. 2025;63(6):1084–1098. [<https://doi.org/10.1515/cclm-2024-1451>] (<https://doi.org/10.1515/cclm-2024-1451>)
16. Mishra V, Raina V. Understanding and implementation of the important difference between ISO 15189:2012 and ISO 15189:2022: Medical laboratories requirements for quality and competence. Indian J Transplant. 2023;17(3):383–384. [https://doi.org/10.4103/ijot.ijot_73_23] (https://doi.org/10.4103/ijot.ijot_73_23)
17. Westgard J, Westgard S. Quality control review: implementing a scientifically based quality control system. Ann Clin Biochem. 2016;53(4):453–458.

[<https://doi.org/10.1177/0004563215597248>]

(<https://doi.org/10.1177/0004563215597248>)

18. Gargis AS, Kalman L, Lubin I. Assuring the quality of next-generation sequencing in clinical microbiology and public health laboratories. *J Clin Microbiol.* 2016;54(12):2857–2865. <https://doi.org/10.1128/JCM.00949-16>

19. Mahamdallie S, Ruark E, Yost SE, et al. The Quality Sequencing Minimum (QSM): providing comprehensive, consistent, transparent next-generation sequencing data quality assurance. *Wellcome Open Res.* 2018; 3:37. [<https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.14307.1>]

(<https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.14307.1>)

20. CLSI. MM17-Ed2. Validation and Verification of Multiplex Nucleic Acid Assays. 2nd ed. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2018. [<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm17/>]

(<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm17/>)

21. CLSI. MM09-Ed3. Human Genetic and Genomic Testing Using Traditional and High-Throughput Nucleic Acid Sequencing Methods. 3rd ed. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2023.

[<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm09/>]

(<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm09/>)

22. CLSI. MM06-Ed3. Quantitative Molecular Methods for Infectious Diseases. 3rd ed. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2023. [<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm06/>]

(<https://clsi.org/standards/products/molecular-diagnostics/documents/mm06/>)

23. CLSI. EP12-Ed3. Evaluation of Qualitative, Binary Output Examination Performance. 3rd ed. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2023. [<https://clsi.org/standards/products/method-evaluation/documents/ep12/>]

(<https://clsi.org/standards/products/method-evaluation/documents/ep12/>)

24. ISO/IEC 17043:2023. Conformity assessment — General requirements for the competence of proficiency testing providers.

[<https://www.iso.org/standard/80864.html>]

(<https://www.iso.org/standard/80864.html>)

25. Deans ZC, et al. Quality genes: the role of external quality assessment in molecular pathology. *Arch Pathol Lab Med.* 2017;141(5):631–641.

[<https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0164-RA>] (<https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0164-RA>)

26. Sandvall EL, et al. External quality assessment for next-generation sequencing: results from the College of American Pathologists proficiency testing programs. *Arch Pathol Lab Med.* 2021;145(9):1103–1112. [<https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0382-CP>] (<https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0382-CP>)

27. CLSI. QMS24. External Quality Assurance: Model, Management, and Training. 1st ed. Clinical and Laboratory Standards Institute; 2020. [<https://clsi.org/standards/products/quality-management-systems/documents/qms24/>]

(<https://clsi.org/standards/products/quality-management-systems/documents/qms24/>)

28. Vikas M, et al. Proficiency testing in molecular diagnostics: challenges and solutions in the NGS era. *J Mol Diagn.* 2024;26(2):89–102. [<https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2023.11.004>]
(<https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2023.11.004>)

HEART FAILURE WITH PRESERVED EJECTION FRACTION: CONTEMPORARY UNDERSTANDING OF PATHOPHYSIOLOGY AND TREATMENT

Tolenbekova Balzhan,
Kazakh-Russian Medical University

Mergen Bekzada,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov,
Kazakhstan

Abstract. Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) has become one of the most challenging clinical syndromes in contemporary cardiovascular medicine, accounting for approximately half of all heart failure cases worldwide. Unlike heart failure with reduced ejection fraction, HFpEF is characterized by marked clinical and biological heterogeneity, with multiple cardiovascular and extracardiac comorbidities contributing to disease onset and progression. Current evidence indicates that systemic inflammation, endothelial dysfunction, myocardial fibrosis, impaired ventricular relaxation, microvascular abnormalities, and cardiometabolic disorders collectively underlie the development of HFpEF. Recent advances have shifted the understanding of HFpEF from an isolated disorder of diastolic dysfunction toward a complex multisystem syndrome requiring individualized diagnostic and therapeutic approaches.

This review summarizes current evidence regarding the pathophysiological mechanisms, clinical phenotypes, diagnostic principles, and contemporary treatment strategies for HFpEF. Particular attention is given to the role of obesity, type 2 diabetes mellitus, chronic kidney disease, atrial fibrillation, and systemic inflammation in disease progression, as well as to recent therapeutic advances including sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors, mineralocorticoid receptor antagonists, angiotensin receptor-neprilysin inhibition, and emerging cardiometabolic therapies. A phenotype-oriented approach integrating clinical characteristics, multimorbidity profiles, and underlying biological mechanisms appears to represent the most promising strategy for improving outcomes in patients with HFpEF.

Keywords: *heart failure with preserved ejection fraction; HFpEF; diastolic dysfunction; myocardial fibrosis; endothelial dysfunction; systemic inflammation; cardiometabolic syndrome; obesity; type 2 diabetes mellitus; sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors; personalized medicine.*

Introduction. Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) has emerged as one of the fastest-growing forms of heart failure and currently accounts for nearly 50% of all heart failure diagnoses worldwide. Population aging together with the increasing prevalence of obesity, type 2 diabetes mellitus, hypertension, chronic kidney disease, and atrial fibrillation has contributed to a steady rise in the incidence of this syndrome over the past two decades. Despite preservation of left ventricular ejection

fraction, patients with HFpEF experience substantial morbidity, frequent hospitalizations, impaired quality of life, and mortality rates approaching those observed in heart failure with reduced ejection fraction. These observations emphasize that preserved systolic function does not indicate a benign clinical course and highlight the need for a more comprehensive understanding of the mechanisms underlying HFpEF [1–3].

For many years, HFpEF was regarded primarily as a disorder of impaired left ventricular relaxation and increased myocardial stiffness. However, contemporary research has demonstrated that this concept is insufficient to explain the marked heterogeneity of the disease. Current pathophysiological models describe HFpEF as a systemic syndrome resulting from chronic inflammation, endothelial dysfunction, coronary microvascular impairment, myocardial fibrosis, abnormal ventricular–vascular coupling, and neurohormonal activation. These processes are closely linked with extracardiac comorbidities, which contribute not only to symptom severity but also to structural and functional cardiac remodeling. Consequently, HFpEF is now recognized as a complex multisystem disorder rather than an isolated cardiac disease [2–5].

Recent investigations have further revealed that distinct biological and clinical phenotypes exist within the HFpEF population. Patients differ considerably with respect to metabolic status, inflammatory activity, renal function, pulmonary vascular involvement, right ventricular dysfunction, and the burden of accompanying comorbidities. This heterogeneity largely explains the limited success of earlier therapeutic strategies based on a uniform treatment model. Advances in multimodality imaging, circulating biomarkers, and machine-learning–based phenotyping have substantially improved the ability to identify clinically meaningful subgroups that may respond differently to targeted therapeutic interventions. As a result, individualized management has become an increasingly important principle in the contemporary care of patients with HFpEF [4–6].

Major therapeutic progress has been achieved during the last several years following the publication of large randomized clinical trials demonstrating significant clinical benefits of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors in patients with HFpEF, regardless of diabetes status. At the same time, ongoing investigations continue to evaluate the potential role of mineralocorticoid receptor antagonists, angiotensin receptor-neprilysin inhibitors, glucagon-like peptide-1 receptor agonists, and novel anti-inflammatory and antifibrotic therapies. These advances have transformed current treatment paradigms from symptom-oriented management toward phenotype-directed, mechanism-based care aimed at modifying disease progression and improving long-term cardiovascular outcomes [5–7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the pathophysiology, clinical phenotypes, diagnostic approaches, and contemporary treatment strategies for heart failure with preserved ejection fraction, with particular emphasis on recent advances in personalized cardiovascular medicine.

Materials and Methods. This study was conducted as a systematic narrative review of the contemporary literature addressing the pathophysiology, clinical

characteristics, diagnosis, and treatment of heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF). The review focused on evidence published between January 2020 and June 2026 to reflect recent advances in understanding the biological mechanisms of HFpEF and the evolution of phenotype-guided therapeutic strategies. Particular emphasis was placed on studies investigating myocardial remodeling, systemic inflammation, endothelial dysfunction, coronary microvascular impairment, cardiometabolic comorbidities, and emerging pharmacological therapies.

The literature search was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Search terms included combinations of "heart failure with preserved ejection fraction", "HFpEF", "diastolic dysfunction", "myocardial fibrosis", "endothelial dysfunction", "systemic inflammation", "cardiometabolic syndrome", "obesity", "type 2 diabetes mellitus", "SGLT2 inhibitors", "angiotensin receptor-neprilysin inhibitor", and "mineralocorticoid receptor antagonist". Priority was given to international clinical practice guidelines, randomized controlled trials, prospective cohort studies, systematic reviews, and meta-analyses. Publications with insufficient methodological quality, duplicate reports, conference abstracts, editorials, and studies with incomplete clinical data were excluded. The selected evidence was synthesized qualitatively with emphasis on clinically relevant mechanisms and contemporary therapeutic approaches for HFpEF.

Results. Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) is currently recognized as a heterogeneous clinical syndrome resulting from the interaction of myocardial, vascular, renal, metabolic, and systemic inflammatory mechanisms rather than an isolated disorder of diastolic dysfunction. Contemporary studies demonstrate that preserved left ventricular ejection fraction does not reflect preserved myocardial function, as abnormalities of ventricular relaxation, impaired myocardial compliance, left atrial remodeling, coronary microvascular dysfunction, and increased ventricular filling pressures coexist despite normal systolic performance. This paradigm has fundamentally changed the understanding of HFpEF and explains the limited efficacy of therapies previously extrapolated from heart failure with reduced ejection fraction [8–10].

One of the central mechanisms underlying HFpEF is chronic systemic inflammation associated with aging and multiple cardiometabolic comorbidities. Hypertension, obesity, type 2 diabetes mellitus, chronic kidney disease, and atrial fibrillation promote persistent activation of inflammatory pathways, leading to endothelial dysfunction and coronary microvascular inflammation. Reduced nitric oxide bioavailability decreases cyclic guanosine monophosphate and protein kinase G activity within cardiomyocytes, resulting in increased myocardial stiffness, impaired active relaxation, and progressive diastolic dysfunction. Simultaneously, activation of fibroblasts and excessive collagen deposition contribute to diffuse myocardial fibrosis, which further limits ventricular compliance and increases filling pressures during physical activity [9–12].

Myocardial structural remodeling in HFpEF extends beyond fibrosis and includes concentric left ventricular hypertrophy, cardiomyocyte hypertrophy, extracellular matrix expansion, capillary rarefaction, and left atrial remodeling. These structural

abnormalities impair ventricular-arterial coupling and reduce cardiac reserve during exercise. Left atrial dysfunction develops early in the disease process and is associated with elevated pulmonary venous pressure, pulmonary hypertension, atrial fibrillation, and worsening exercise intolerance. Recent imaging studies using cardiac magnetic resonance and speckle-tracking echocardiography have demonstrated that myocardial strain abnormalities frequently precede conventional echocardiographic evidence of overt diastolic dysfunction, allowing earlier identification of patients at increased risk [10–13].

Obesity has emerged as one of the predominant HFpEF phenotypes and is increasingly recognized as an independent pathophysiological driver rather than a simple accompanying risk factor. Excess visceral adipose tissue promotes systemic inflammation through increased production of interleukin-6, tumor necrosis factor- α , leptin, and other adipokines while reducing protective adiponectin secretion. Epicardial adipose tissue exerts additional local effects by stimulating myocardial inflammation and fibrosis through paracrine signaling. These mechanisms contribute to impaired ventricular compliance, increased plasma volume, elevated cardiac filling pressures, and reduced exercise capacity, explaining the particularly high prevalence of HFpEF among patients with obesity and metabolic syndrome [11–14].

Type 2 diabetes mellitus and chronic kidney disease further accelerate disease progression through shared cardiometabolic mechanisms. Hyperglycemia, insulin resistance, oxidative stress, accumulation of advanced glycation end products, mitochondrial dysfunction, and activation of the renin–angiotensin–aldosterone system promote myocardial fibrosis, endothelial injury, and impaired myocardial energetics. Chronic kidney disease contributes to sodium retention, neurohormonal activation, vascular calcification, and persistent systemic inflammation, creating a bidirectional cardiorenal interaction that substantially increases hospitalization rates and cardiovascular mortality. These observations support the concept of HFpEF as a multisystem syndrome involving coordinated dysfunction of the heart, kidneys, vasculature, and metabolic organs [12–15].

Recognition of the marked biological heterogeneity of HFpEF has stimulated the development of phenotype-based management strategies. Contemporary approaches classify patients according to dominant clinical characteristics, including obesity-related, metabolic, hypertensive, ischemic, atrial fibrillation–predominant, pulmonary hypertension–associated, and cardiorenal phenotypes. Machine-learning algorithms integrating clinical variables, biomarkers, imaging findings, and hemodynamic characteristics have further demonstrated that patients with seemingly similar clinical presentations may exhibit substantially different biological mechanisms and therapeutic responses. Such phenotypic stratification has become increasingly important for individualized treatment selection and prognostic assessment [13–17].

Therapeutic management of HFpEF has changed considerably following the publication of large randomized clinical trials evaluating sodium-glucose cotransporter-2 (SGLT2) inhibitors. EMPEROR-Preserved and DELIVER demonstrated significant reductions in the composite endpoint of cardiovascular death or heart failure hospitalization across a broad spectrum of patients with preserved

ejection fraction, independent of diabetes status. Mineralocorticoid receptor antagonists may provide additional benefit in selected patients by attenuating myocardial fibrosis and reducing neurohormonal activation, whereas angiotensin receptor-neprilysin inhibition has shown modest improvements in selected subgroups, particularly among women and patients with left ventricular ejection fraction at the lower end of the preserved range. Individualized use of diuretics remains fundamental for symptom control and optimization of volume status [15–19].

Recent research has increasingly focused on comprehensive cardiometabolic management rather than isolated cardiac treatment. Weight reduction, structured exercise training, aggressive blood pressure control, rhythm management in atrial fibrillation, optimization of diabetes therapy, and treatment of chronic kidney disease collectively improve functional capacity and quality of life. Emerging evidence also suggests potential benefits of glucagon-like peptide-1 receptor agonists in patients with obesity-related HFpEF through reductions in body weight, systemic inflammation, and epicardial adipose tissue, although additional outcome trials are required before routine implementation. Overall, contemporary evidence supports a personalized, phenotype-oriented therapeutic strategy integrating disease-modifying pharmacotherapy with intensive management of underlying cardiometabolic comorbidities as the most promising approach for improving long-term outcomes in HFpEF [17–20].

Discussion. The findings of the present review demonstrate that heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) is no longer viewed as a disorder limited to impaired ventricular relaxation but rather as a complex multisystem syndrome arising from the interaction of cardiovascular and extracardiac pathophysiological processes. Contemporary evidence indicates that systemic inflammation, endothelial dysfunction, coronary microvascular injury, myocardial fibrosis, and neurohormonal activation collectively contribute to disease development and progression. This evolving concept explains the considerable clinical heterogeneity of HFpEF and the limited effectiveness of therapeutic strategies that were previously extrapolated from heart failure with reduced ejection fraction [8–11].

A major advance in recent years has been the recognition of the central role of cardiometabolic comorbidities in HFpEF. Hypertension, obesity, type 2 diabetes mellitus, chronic kidney disease, and atrial fibrillation are no longer regarded merely as accompanying conditions but as active biological drivers of myocardial remodeling and progressive cardiac dysfunction. Persistent low-grade inflammation associated with these disorders promotes endothelial injury, reduces nitric oxide bioavailability, impairs myocardial relaxation, and accelerates diffuse interstitial fibrosis. Consequently, optimal management of HFpEF requires comprehensive treatment of the underlying cardiometabolic disease rather than isolated management of heart failure symptoms [9–13].

Another important development has been the transition from a uniform treatment strategy to phenotype-oriented management. Increasing evidence suggests that patients with HFpEF represent several biologically distinct subgroups characterized by different mechanisms of disease progression and variable responses to therapy. Clinical phenotyping based on metabolic profile, renal function, pulmonary vascular

involvement, atrial fibrillation burden, and imaging characteristics has improved risk stratification and may facilitate more individualized therapeutic decision-making. The integration of biomarkers, advanced imaging techniques, and computational phenotyping is expected to further refine personalized treatment algorithms in the coming years [12–16].

Therapeutic progress has accelerated following the introduction of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors, which currently represent the first pharmacological class consistently demonstrating reductions in heart failure hospitalization across the HFpEF spectrum. Unlike previous therapies that primarily targeted neurohormonal activation, SGLT2 inhibitors appear to exert multiple beneficial effects through improvement of myocardial energetics, reduction of inflammation, attenuation of renal dysfunction, optimization of volume regulation, and enhancement of overall cardiometabolic homeostasis. Nevertheless, residual cardiovascular risk remains substantial, indicating that combination strategies addressing several pathophysiological pathways simultaneously will likely be required to achieve greater clinical benefit [15–19].

Despite these advances, important challenges remain. Diagnostic criteria continue to be complicated by the heterogeneous presentation of HFpEF, while overlap with pulmonary disease, obesity-related dyspnea, renal dysfunction, and age-related physiological changes may delay diagnosis. Furthermore, many patients exhibit mixed phenotypes that cannot be fully classified using current algorithms, emphasizing the need for more precise biological markers capable of identifying dominant disease mechanisms. Additional randomized studies are also needed to clarify the role of novel therapies, including glucagon-like peptide-1 receptor agonists, anti-inflammatory agents, antifibrotic therapies, and interventions targeting coronary microvascular dysfunction [16–20].

Future management of HFpEF is likely to rely increasingly on precision cardiovascular medicine. Integration of multimodality cardiac imaging, circulating biomarkers, genomic and proteomic profiling, and artificial intelligence may enable earlier identification of high-risk patients and more accurate selection of individualized therapeutic strategies. Such an approach has the potential to improve functional capacity, reduce recurrent hospitalization, slow disease progression, and ultimately improve long-term cardiovascular outcomes. Continued refinement of phenotype-guided treatment therefore represents one of the most promising directions in contemporary HFpEF research and clinical practice [17–20].

CONCLUSION

Heart failure with preserved ejection fraction has evolved from a condition primarily associated with diastolic dysfunction into a multifactorial syndrome characterized by complex interactions between myocardial, vascular, renal, metabolic, and inflammatory mechanisms. Contemporary evidence indicates that endothelial dysfunction, chronic low-grade inflammation, myocardial fibrosis, and cardiometabolic comorbidities play central roles in disease development and progression. Recognition of these interconnected processes has substantially improved the understanding of HFpEF and has provided the foundation for more targeted diagnostic and therapeutic approaches.

Recent therapeutic advances, particularly the introduction of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors, have established the first evidence-based disease-modifying treatment for patients with HFpEF. Nevertheless, the marked biological heterogeneity of this syndrome suggests that a uniform therapeutic strategy is unlikely to provide optimal outcomes for all patients. Future progress will depend on phenotype-oriented management integrating clinical characteristics, multimodality imaging, biomarkers, and comprehensive treatment of accompanying cardiometabolic disorders. Such an individualized approach is expected to improve risk stratification, reduce hospitalization, and enhance long-term clinical outcomes in patients with HFpEF.

References

1. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. 2023 Focused update of the 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2023;44(37):3627-3639.
2. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure. *Circulation*. 2022;145(18):e895-e1032.
3. Kittleson MM, Panjrath GS, Amancherla K, Bui AL, Davis MB, Deswal A, et al. 2023 ACC Expert Consensus Decision Pathway on Management of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *J Am Coll Cardiol*. 2023;81(18):1835-1878.
4. Cannata A, McDonagh TA. Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*. 2025;392(2):173-184.
5. Anker SD, Butler J, Filippatos G, Ferreira JP, Bocchi E, Böhm M, et al. Empagliflozin in Heart Failure with a Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*. 2021;385(16):1451-1461.
6. Solomon SD, McMurray JJV, Claggett B, de Boer RA, DeMets D, Hernandez AF, et al. Dapagliflozin in Heart Failure with Mildly Reduced or Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*. 2022;387(12):1089-1098.
7. Kosiborod MN, Abildstrøm SZ, Borlaug BA, Butler J, Rasmussen S, Davies M, et al. Semaglutide in Patients with Obesity-Related Heart Failure and Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*. 2023;389(12):1069-1084.
8. Kosiborod MN, Borlaug BA, Butt JH, et al. Tirzepatide for Heart Failure with Preserved Ejection Fraction and Obesity (SUMMIT Trial). *N Engl J Med*. 2025;392:493-504.
9. Felker GM. Toward a New SUMMIT in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*. 2025;392:505-506.
10. Borlaug BA. Evaluation and Management of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Nat Rev Cardiol*. 2020;17(9):559-573.
11. Shah SJ, Borlaug BA, Kitzman DW, McCulloch AD, Blaxall BC, Agarwal R, et al. Research Priorities for Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Circulation*. 2020;141(12):1001-1026.
12. Obokata M, Reddy YNV, Borlaug BA. The Role of Echocardiography in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(1 Pt 2):245-257.

13. Pandey A, Kitzman DW, Whellan DJ, Duncan PW, Mentz RJ, Pastva AM, et al. Exercise Training in Patients with Heart Failure and Preserved Ejection Fraction: Current Evidence and Future Directions. *Circ Heart Fail*. 2023;16:e010553.
14. Vaduganathan M, Claggett BL, Jhund PS, Cunningham JW, Ferreira JP, Zannad F, et al. Estimating Lifetime Benefits of Sodium-Glucose Cotransporter-2 Inhibitors in Patients with Heart Failure. *Circulation*. 2022;146(10):764-773.
15. Butler J, Anker SD, Filippatos G, Khan MS, Ferreira JP, Pocock SJ, et al. Empagliflozin and Health Status in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: EMPEROR-Preserved. *Circulation*. 2022;145(3):184-193.
16. Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. Heart Failure with Preserved Ejection Fraction Management: A Systematic Review of Clinical Practice Guidelines and Recommendations. *Eur J Heart Fail*. 2024;26:1547-1565.
17. Fayyaz AU, Eltony M, Prokop LJ, et al. Pathophysiological Insights into Heart Failure with Preserved Ejection Fraction from Studies of Human Cardiac Tissue. *Nat Rev Cardiol*. 2025;22:90-104.
18. Mentz RJ, O'Connor CM. Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Clinical Challenges and Future Directions. *Lancet*. 2024;403:786-799.
19. Khan SS, Lloyd-Jones DM, Pagidipati N, Shah SJ, Leopold JA. HFpEF Explained: Prevalence, New Advances, and How to Diagnose. *N Engl J Med*. 2026;394:e30.
20. Khan SS, Shah SJ, Pagidipati N, Leopold JA. HFpEF Explained: Managing HFpEF in Primary Care. *N Engl J Med*. 2026;394:e32.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РІЗНИХ ВИДІВ МАКУЛЯРНОГО НАБРЯКУ ПІСЛЯ ФАКОЕМУЛЬСИФІКАЦІЇ ПРИ ЦУКРОВОМУ ДІАБЕТІ 2 ТИПУ

Горохівська Олеся Тарасівна,

аспірант кафедри офтальмології та оптометрії післядипломної освіти,
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця,
м. Київ, Україна

Цукровий діабет – це хронічне метаболічне захворювання, широко поширене в усьому світі. За даними авторитетного ресурсу про глобальний вплив діабету у світі – 10 видавництва Атласу Міжнародної діабетичної федерації діабету (IDF) 2021 року, 10,5% дорослого населення в віці від 20 до 79 років хворіють на цукровий діабет, причому майже половина не підозрюють, що вони живуть із цим захворюванням [1].

Старіння населення та збільшення тривалості життя пацієнтів також означають, що поширеність ЦД перевищить 33% до 2050 року [2]. Офіційна поширеність ЦД в Україні серед осіб у віці 20-79 років у 2021 році становила 5,6% (2,325 млн осіб), продемонструвавши зростання майже удвічі з 2011 року (2,9%, тобто 1,196 млн осіб) [3].

На превеликий жаль, на сьогоднішній день в умовах воєнного стану в Україні, що триває, маємо серйозні виклики для пацієнтів з діабетом. Через вимушене недотримання режиму дієти, постійні стреси, проблеми з постачанням та безперервним доступом до ліків можливий розвиток загрозливих та критичних станів для здоров'я та життя пацієнтів. В деяких регіонах практично відсутня можливість отримувати професійні консультації та допомогу спеціалістів. Всі ці фактори призводять до декомпенсації цукрового діабету та розвитку ускладнень [4].

У зв'язку зі збільшенням кількості пацієнтів з діабетом 1-го та 2-го типу в усьому світі захворюваність на діабетичну катаракту неухильно зростає. Лікування катаракту у пацієнтів з цукровим діабетом залишається проблемою та викликом навіть для досвідчених хірургів.

Факоемульсифікація катаракти є золотим стандартом операції з видалення катаракти та підвищує ризик післяопераційного діабетичного макулярного набряку або посилює наявний набряк через вже існуючу діабетичну ретинопатію. При оцінці ризику розвитку макулярного набряку різного генезу слід врахувати використання різних параметрів, такі як тривалість, інтенсивність ультразвуку при операції, тип цукрового діабету, ригідність кришталика та рівень HbA1C. За даними літератури від 3,2% до 55% осіб з цукровим діабетом визначається псевдофакічний макулярний набряк (ПФМН) після операції з видалення катаракти. Та у 22% пацієнтів з цукровим діабетом розвивається діабетичний макулярний набряк (ДМН) [5].

Пацієнти з ДР мають більшу ймовірність розвитку центрального макулярного набряку після операції з видалення катаракти, якщо безпосередньо перед видаленням катаракти присутній нецентральный ДМН або якщо вони в анамнезі лікували ДМН. Отже, діагностика та лікування ДМН перед операцією з видалення катаракти є обов'язковими; однак наявність попереднього ДМН не є підставою для відкладення операції з видалення катаракти, якщо є клінічні показання [6].

Псевдофакічний макулярний набряк, також відомий як синдром Ірвіна-Гасса, є однією з найпоширеніших причин погіршення гостроти зору після операції з видалення катаракти [7]. Зазвичай діагностується через 4-6 тижнів після операції та може раптово самостійно регресувати. Патогенез ПФМН вважається багатофакторним. Складний патогенез ДМН включає руйнування гематоретинального бар'єру або критичне зниження його ізолюючих властивостей, порушення дренажної функції глії Мюллера та пігментного епітелію сітківки, окисного стресу та зрештою нейродегенерації.

Таким чином, сучасне розуміння патогенетичних факторів розвитку макулярного набряку після факоемульсифікації катаракти при цукровому діабеті є актуальною сучасною темою.

Мета дослідження: вивчити особливості розвитку різних видів макулярного набряку після хірургічного лікування катаракти у пацієнтів з цукровим діабетом 2 типу

Матеріал та методи Під спостереження знаходились знаходилося 152 пацієнтів (201 око) у віці від 45 до 76 років, хворі на цукровий діабет 2 типу, з наявністю непроліферативної діабетичної ретинопатії легкої та помірної стадії. Всім пацієнтам виконували факоемульсифікацію катаракти (ФЕК) з імплантацією інтраокулярної лінзи (ІОЛ). У всіх пацієнтів після хірургічного лікування було проведено дослідження розвитку ДМН, ПФМН або їх поєднання за даними біомікроскопії та оптичної когерентної томографії (ОКТ) у віддалені терміни спостереження - 6 місяців, 1 рік.

Результати

Отримані результати за даними ОКТ у віддаленому післяопераційному періоді після ФЕК у пацієнтів легкою та помірною НПДР та ЦД2 встановили достовірне збільшення всіх досліджуваних показників макулярної області сітківки через 6 місяців та 1 рік. Показник Area thickness через 6 місяців зріс на 1,5 %, через 1 рік — на 7,3 % від доопераційного рівня ($p \leq 0,05$). Показник (Central Macular Thickness) - центральна товщина сітківки (СМТ) збільшилася на 3,4 % через 6 місяців і на 6,4 % через 1 рік ($p \leq 0,05$). Макулярний об'єм (MV) достовірно підвищився на 2,5 % через 6 місяців і на 4,3 % через 1 рік ($p \leq 0,05$). Показник співвідношення центральної товщини макули до макулярного об'єму (Thickness volume ratio (TVR)) також зростав поступово: +1,0 % через 6 місяців і +2,1 % через 1 рік ($p \leq 0,05$). Офтальмоскопічно та за даними оптичної когерентної томографії через 6 місяців ДМН було діагностовано в 14,9% випадків. Поєднання ДМН та ПФМН в 4,47% випадків. Через 1 рік ДМН та ПФМН було діагностовано в 9,13 % та 5,44 % випадків відповідно, поєднання

ДМН та ПФМН - в 7,1% випадків.

Висновки

1. Факоемульсифікації катаракти з імплантацією ІОЛ імовірно може підвищувати ризик розвитку макулярних набряків різного генезу у відділені терміни спостереження.

2. Частота ДМН та його поєднання з ПФМН через 6 місяців після хірургічного втручання склала 14,9% та 4,47% випадків відповідно. Частота ДМН, ПФМН та їх поєднання через 1 рік склала 9,13%, 5,44% та 7,1% випадків відповідно.

3. Вивчення нових патогенетичних чинників розвитку різних видів макулярних набряків після факоемульсифікації катаракти у пацієнтів з ЦД2 дозволить підвищити ефективність хірургічного лікування цієї категорії пацієнтів.

Список літератури

1. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels: International Diabetes Federation; 2021.
2. World Health Organization. Global report on diabetes. Geneva: WHO; 2024.
3. Stuart RM, Khan O, Abeysuriya R et al. Diabetes care cascade in Ukraine: an analysis of breakpoints and opportunities for improved diabetes outcomes. BMC Health Serv Res. 2020 May 11;20(1):409. doi: 10.1186/s12913-020-05261-y.
4. Li Z. Pseudophakic Cystoid Macular Edema and Diabetes Mellitus: A Case Report. CRO Journal. Published online February 27, 2024. doi:10.57204/001c.94013
5. Zarei-Ghanavati S, Hadi Y, Habibi A, Ashraf Khorasani M, Yoo SH. Cataract and diabetes: review of the literature. J Cataract Refract Surg. 2024 Dec 1;50(12):1275-1283. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001547. PMID: 39254426; PMCID: PMC11556822.
6. Diabetic Macular Edema: Diagnosis and Management. Retina. Ophthalmic Pearls. 2021 May 01.
7. Smarlamaki R, Koutsoumpi EA, Psaltopoulou T, Kalarakis G, Theodossiadis P, Georgalas I, Peponis V, Chatziralli I, Sergentanis TN. Risk Factors and Cumulative Incidence of Cystoid Macular Edema After Simple Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. Cureus. 2025 May 16;17(5):e84212. doi: 10.7759/cureus.84212. PMID: 40525008; PMCID: PMC12168746.

ЦИФРОВА ЕВОЛЮЦІЯ УКРАЇНСЬКОЇ МЕДИЦИНИ ВІД ПАПЕРОВОЇ РУТИНИ ДО ЕКОСИСТЕМИ Е- ЗДОРОВ'Я

Данілова Вікторія Вадимівна

здобувач вищої освіти
за першим (бакалаврським) рівнем
за спеціальністю І5.01 Медсестринство

Чубенко Валентина Анатоліївна

викладач-методист
Черкаська медична академія

Василенко Ірина Олександрівна

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри фундаментальних дисциплін
Черкаська медична академія

Цифровізація охорони здоров'я в Україні стала одним із ключових напрямів модернізації державної системи медичних послуг. Впровадження електронної системи охорони здоров'я (ЕСОЗ) замінює паперові картки цифровими, забезпечує онлайн-декларації, електронні рецепти та направлення, а також відкриває шлях до телемедицини, штучного інтелекту та віддаленого моніторингу пацієнтів. Це не лише технологічна трансформація, а й глибинна зміна у взаємодії між пацієнтом, лікарем та державою. Завдяки цифровим інструментам медична допомога стає більш доступною, прозорою та персоналізованою, а лікарі отримують можливість працювати ефективніше, зосереджуючись на лікуванні, а не на бюрократії.

Ще кілька років тому паперові картки, нескінченні черги та бюрократії. Сьогодні ж ми маємо електронну систему охорони здоров'я (ЕСОЗ), онлайн-декларації, електронні рецепти, телемедицину та навіть цифрові реєстри на платформі «Дія.Engine». Це — нова реальність української медицини.

Цифровізація робить медицину більш персоналізованою та точною, забезпечуючи швидкий обмін інформацією між пацієнтом та лікарем.

Пацієнт отримує такі переваги: зручність (підписання декларації та запис до лікаря онлайн), доступність (медична історія завжди під рукою), прозорість (мінімізація черг та паперової тяганини). В свою чергу лікар же отримує швидкий доступ до історії хвороби, автоматизацію рутинних процесів та зменшення паперової роботи.

У 2023-2024 роках в Україні реалізовано понад 100 цифрових проєктів, спрямованих на автоматизацію процесів, що доводить перехід медицини до сучасного цифрового рівня.

eHealth (Електронна система охорони здоров'я — ЕСОЗ) — це масштабна державна цифрова інфраструктура, що забезпечує автоматизацію обліку медичних послуг та управління медичними даними в Україні. Система об'єднує понад 49 тисяч закладів, мільйони пацієнтів та працює як двокомпонентна екосистема (центральна база даних та МІС), що гарантує прозорість та доступність медичної допомоги.

Метою створення бази знань була систематизація інформації про цифровізацію охорони здоров'я в зручному форматі, де було б представлено інформаційно-аналітичні матеріали щодо:

- цифрової трансформації охорони здоров'я в Україні та світі;
- функціонування електронної системи охорони здоров'я та інших ІТ-систем і реєстрів;
- питання кібербезпеки та захисту даних;
- розвитку цифрової компетентності працівників охорони здоров'я.

База знань спрямована на професійний розвиток працівників сфери, експертів та всіх зацікавлених в розбудові сучасної охорони здоров'я.

На сьогоднішній день екосистема е-здоров'я в Україні представляє собою складну систему взаємодіючих на різних рівнях електронних та програмних продуктів. Станом на зараз її умовно можна розділити за напрямками застосування. Таке розділення є доволі умовним, а головною спільною ознакою є застосування інформаційно-комунікаційних систем для охорони здоров'я або їх дотичність.

Отже, електронна система охорони здоров'я (ЕСОЗ) складається з двох компонентів:

центральна база даних (ЦБД) — інформаційно-комунікаційна система, яка містить передбачені цим Порядком реєстри, програмні модулі, електронну медичну інформаційно-аналітичну систему з оптимізації роботи оперативно-диспетчерських служб центрів екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, електронні кабінети пацієнтів і посадових осіб НСЗУ та МОЗ, інформаційну систему НСЗУ в частині, необхідній для реалізації державних фінансових гарантій медичного обслуговування населення, а також забезпечує можливість створення, перегляду, обміну інформацією та документами між реєстрами, державними електронними інформаційними ресурсами, електронними медичними інформаційними системами.

електронні медичні інформаційні системи (МІС) — інформаційно-комунікаційні системи, які забезпечують функціонування електронних кабінетів користувачів, автоматизацію їх роботи, створення, перегляд інформації, обмін інформацією в електронній формі, зокрема із центральною базою даних (у разі підключення).

Для пацієнтів: зручність та безпека:

- Електронна черга на ендопротезування: Українці отримують рівний доступ до високоякісних операцій без «черг у журналах». Пацієнти, які потребують заміни кульшового, колінного, плечового чи ліктьового суглоба, можуть отримати відповідну послугу безоплатно. Система автоматизує процеси

запису, адміністрування черги, планування та проведення операцій. Після операції статус пацієнта змінюється, що забезпечує повну прозорість і виключає можливість стороннього втручання чи маніпуляцій з чергою. Це забезпечує соціальну справедливість та дозволяє пацієнту планувати своє лікування, розуміючи реальні терміни отримання допомоги.

- **Особистий кабінет пацієнта ЕСОЗ:** Пацієнт вперше став користувачем ЕСОЗ. Тепер не потрібно йти в медзаклад, щоб переглянути та оновити свої дані в ЕСОЗ, подати декларацію лікарю чи оновити прізвище в системі після одруження — це можна зробити в кілька кліків онлайн. У майбутньому кабінет пацієнта буде доповнюватися новим функціоналом.

- **Система оцінювання повсякденного функціонування:** впроваджено цифрові інструменти. Перехід від радянської моделі інвалідності до міжнародних стандартів. Уся інформація оформлюється через електронну систему щодо оцінювання повсякденного функціонування, що спрощує процес збору та передачі даних.

- **Push-сповіщення в «Дії»:** в ЕСОЗ розширено канали інформування пацієнтів. Сповіщення про е-Рецепти, е-Направлення та плани лікування тепер надходять у застосунок «Дія» у форматі push-повідомлень. Система працює за принципом пріоритетності — якщо доставити повідомлення в «Дію» неможливо, воно надсилається через Viber або SMS, що також дозволяє оптимізувати витрати державних коштів.

Для лікарів: менше бюрократії, більше стандартів:

- **Цифрова реабілітація:** впроваджено міжнародні шкали оцінювання (RLA-LOCF, WHODAS 2.0 та ін.) та е-Запит на допоміжні засоби (ДЗР). Лікар бачить історію відновлення пацієнта в його електронній медичній картці.

- **Актуальність даних:** завдяки обміну даними з реєстрами (ДРАЦСГ), автоматично деактивуються записи про померлих пацієнтів, які раніше могли залишатися активними з технічних або процедурних причин. Функціональність забезпечує актуалізацію даних у системі та прозорість оплати медичних послуг.

- **Удосконалення методів верифікації:** новий напрям — верифікація за свідоцтвом про народження дозволяє коректно ідентифікувати неповнолітніх пацієнтів, спрощує роботу медичних закладів і створює надійну основу для подальшого розвитку цифрових сервісів.

- **Спрощений процес створення зв'язку з законним представником пацієнта:** під час створення зв'язку з законним представником достатньо знайти та обрати його серед уже зареєстрованих пацієнтів в ЕСОЗ та вказати документ, що підтверджує представництво. Процес став швидшим і зменшує кількість ручних дій для медичних працівників.

Для держави та бізнесу: прозорість

- **Прозорий і справедливий розподіл студентів-медиків в інтернатуру:** електронний рейтинговий розподіл в інтернатуру вперше реалізовано в Україні, відкривши нову сторінку в медичній освіті. Система забезпечує чесний і рівний доступ для кожного випускника та унеможливорює будь-яке втручання в процес розподілу. У результаті цифрового відбору інтернатуру розпочали понад 2,5

тисячі молодих лікарів — за єдиними правилами, з прозорим алгоритмом і мінімальним людським фактором. Це нульова толерантність до корупції на старті кар'єри лікаря.

- **Обов'язковий е-Рецепт на препарати налбуфіну та буторфанолу:** з червня 2025 року відпуск препаратів Налбуфін та Буторфанол здійснюється виключно за е-Рецептом. Це забезпечує суворий контроль за обігом опіюїдних анальгетиків (паперові рецепти залишаються лише для прифронтових зон за відсутності зв'язку).

- **Облік медичного обладнання:** в ЕСОЗ з'явився функціонал для обліку медобладнання. Це можливість бачити актуальну картину оснащення, перевіряти працездатність техніки та автоматично підтверджувати відповідність закладу вимогам ПМГ під час контрактування з НСЗУ.

- **Е-нотифікація косметичної продукції та Реєстр дезінфекційних засобів:** запущено цифрові платформи для реєстрації засобів, що виходять на ринок. Захист прав споживачів та безпека здоров'я. Громадяни отримують гарантію, що продукти, якими вони користуються, перевірені та сертифіковані, а бізнес позбувається паперової тяганини.

Таким чином, цифровізація охорони здоров'я в Україні — це не просто технічна модернізація, а нова філософія медицини. Вона робить систему більш відкритою, справедливою та орієнтованою на потреби людини. Ми вже бачимо результати: менше черг, менше бюрократії, більше справедливості та доступності. Це шлях до медицини майбутнього, яка не лише лікує, а й створює довіру між пацієнтом, лікарем і державою. Україна показує приклад того, як цифрові технології можуть змінити сферу охорони здоров'я, зробивши її сучасною, ефективною та людиною. Це шлях до медицини майбутнього, яка відповідає міжнародним стандартам і водночас враховує реальні потреби українського суспільства.

Список літератури

1. Вальчук М. Цифровізація сфери охорони здоров'я в Україні на шляху до забезпечення клієнто- та пацієнтоорієнтованості. Центральньоукраїнський вісник права та публічного управління, 2024, № 3. <https://doi.org/10.32782/cuj-2024-3-2> (дата звернення 04.11.2025 р.).

2. Ємець О. Еволюція eHealth: як цифрова медицина змінила життя українців за рік. <https://speka.ua/health-news/evolyuciya-ehealth-yak-cifrova-medicina-zminila-zittya-ukrayinciv-za-rik-v4oz6e> (дата звернення 11.05.2026 р.).

3. Клименко О., Лехомінова С., Голобородько А. Особливості управління якістю електронних послуг в Україні в умовах цифровізації. Risus-журнал з інновацій та сталого розвитку, 2022, том 13, випуск 1, 72–85. <https://doi.org/10.23925/2179-3565.2022v13i1p72-85> (дата звернення 30.04.2026 р.).

4. Про схвалення Концепції розвитку електронної охорони здоров'я. Розпорядження № 1671-р Кабінет Міністрів України 28 грудня 2020 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KR201671?an=1> (дата звернення 04.03.2026 р.).

5. Радиш Я. Єдиний медичний простір України – нова парадигма розвитку національної системи охорони здоров'я. Єдиний медичний простір України: правовий вимір : монографія за заг. Ред. С.Г. Стеценка. Харків: Право, 2022, 672. С. 24-32.

HYGIENIC STANDARDIZATION OF PM_{2.5} AND PM₁₀ IN WORKPLACE AIR: INTERNATIONAL APPROACHES AND THE SITUATION IN KAZAKHSTAN

Akmaral Bazarkeldi

Master of Engineering and Technology
Chemical Engineer «Ecology Business Consulting» LLP,
Global Laboratory Leadership Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan,

Aitkul Nitalina

Expert in Conformity Assessment, Environmental Protection,
and Occupational Risk Assessment
Head of the Testing Center «Ecology Business Consulting» LLP,
Global Laboratory Leadership Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan,

Aksoltan Oradova

Candidate of Medical Sciences, Scientific Laboratory «Center for Collective Use»,
Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Global Laboratory Leadership
Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan

Ainagul Kuatbayeva

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor,
Highest Qualification Category Physician
Director of the Branch «Scientific and Practical Center for Sanitary and
Epidemiological Expertise and Monitoring» of the National Center for Public Health
of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan,
Global Laboratory Leadership Program (GLLP), Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

The article presents a comparative analysis of international approaches to the hygienic standardization of aerosol fractions in workplace air and evaluates the current sanitary and hygienic regulatory framework of the Republic of Kazakhstan with respect to the control of workplace airborne particulate pollution. The study is based on an analysis of the regulatory and legal framework of the Republic of Kazakhstan, international standards, and scientific publications addressing the hygienic standardization of workplace aerosol fractions and their effects on workers' health.

The analysis revealed that the current workplace air hygienic standardization system in Kazakhstan does not establish separate occupational exposure limits based on the PM_{2.5} and PM₁₀ particle-size fractions.

The study substantiates the need to improve the national system of workplace aerosol hygienic standardization by incorporating modern international approaches that emphasize the monitoring of inhalable, thoracic, and respirable dust fractions. The implementation of these approaches would enhance the effectiveness of workplace

exposure monitoring, improve the accuracy of occupational risk assessment, and strengthen the protection of workers' health.

Keywords: *PM2.5 and PM10 particles; hygienic standardization; workplace air; dust; occupational exposure limits (OELs); occupational risks; workers' health protection.*

INTRODUCTION

According to the World Health Organization (WHO), ambient air pollution is one of the leading risk factors for premature mortality and the development of cardiovascular and respiratory diseases. Particular concern is associated with PM2.5 and PM10 particles, which are capable of penetrating deep into the respiratory system and entering the human bloodstream.

This issue is of particular relevance to Kazakhstan due to the country's extensive metallurgical, coal mining, oil and gas, and mineral extraction industries, where occupational exposure to industrial dust represents one of the major workplace hazards. In many industrial facilities, airborne dust concentrations exceed permissible levels, particularly under conditions of inadequate ventilation, aging equipment, and high-intensity production processes.

At the same time, the current sanitary and hygienic regulatory system is, in many cases, primarily based on the assessment of total dust concentration, highlighting the need for further harmonization with contemporary international approaches to the monitoring and regulation of PM2.5 and PM10.

Objective - to conduct a comparative analysis of international approaches to the regulation of workplace aerosol fractions and to assess the extent to which the current workplace air hygienic standardization system in Kazakhstan complies with modern international practices.

METHODS

- Regulatory analysis - review of the legislation, sanitary regulations, and hygienic standards of the Republic of Kazakhstan.
- Scientific literature review - systematic analysis of published studies examining the health effects of occupational exposure to PM2.5 and PM10 particles.
- Comparative regulatory analysis - comparison of international and national regulatory documents using documentary analysis and comparative legal analysis methods.

RESULTS

1. Review of the Regulatory Framework of the Republic of Kazakhstan for the Standardization of Workplace Aerosol Fractions

The current hygienic standards of the Republic of Kazakhstan governing workplace air do not establish separate occupational exposure limits (OELs) for PM2.5 and PM10.

Order No. RK DSM-70 of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan, dated 2 August 2022, establishes hygienic standards for ambient air in populated areas

and occupational exposure limits for hazardous substances in workplace air [11]. However, the document does not provide specific hygienic standards for PM_{2.5} and PM₁₀ in workplace air.

The analysis of the current regulatory framework demonstrated that dust exposure in Kazakhstan is regulated primarily according to the toxicological and hygienic characteristics of dust, its chemical composition, and its fibrogenic potential. Separate OELs for PM_{2.5} and PM₁₀ in workplace air have not been established, limiting the ability to perform differentiated assessments of their health effects on workers and highlighting the need to further develop the national regulatory system in accordance with international approaches to air quality monitoring and exposure assessment.

Ambient air quality standards and workplace air standards serve different hygienic purposes; therefore, ambient air limit values cannot be directly applied to occupational exposure assessment.

Ambient air quality standards are established to protect the general population from the adverse effects of long-term exposure and are intended to safeguard all population groups, including the most vulnerable. In contrast, workplace air standards are developed specifically for occupational settings and consider the characteristics of workplace exposures and their potential health effects on workers. Furthermore, concentrations of pollutants in ambient air are influenced by natural dispersion processes, wind transport, atmospheric turbulence, and meteorological conditions.

In workplace environments, these natural air-cleaning mechanisms are generally absent or significantly limited. Airborne contaminant concentrations are primarily determined by emission intensity and the effectiveness of ventilation systems. Consequently, contaminants may accumulate within confined workplace environments, resulting in substantially higher exposure levels for workers.

Differences in the objectives of hygienic standardization should also be considered. Ambient air quality standards are intended to prevent adverse health effects throughout the lifetime of the general population, whereas occupational exposure limits are designed to prevent occupational diseases and maintain workers' health and work capacity under workplace conditions. Owing to differences in exposure scenarios, mechanisms governing pollutant concentrations, and regulatory principles, the direct application of ambient air standards as substitutes for workplace exposure limits is scientifically unjustified and may lead to inaccurate occupational risk assessment.

Accordingly, the use of ambient air quality standards for assessing PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in workplace air is not fully consistent with the principles of occupational hygiene, since these standards were developed for fundamentally different exposure conditions.

The application of occupational exposure limits may alter the assessment criteria for the degree of worker exposure and, consequently, the hazard classification of the exposure factor. Where exposure levels are identified that may result in acute adverse health effects, the factor may be classified not only as harmful but also as hazardous.

As of 2025, 1,759,828 workers in the Republic of Kazakhstan were employed under harmful or otherwise unfavorable working conditions [13]. Workplace conditions were evaluated in accordance with the Rules for Mandatory Periodic

Certification of Production Facilities with Respect to Working Conditions, approved by Order No. 1057 of the Minister of Health and Social Development of the Republic of Kazakhstan dated 28 December 2015.

Protecting workers' health constitutes a fundamental component of the public health system and is regarded as one of the key elements of national security. Population health determines the country's labor potential, demographic stability, and socioeconomic development. Consequently, occupational safety and the prevention of occupational risks have become strategic priorities for achieving sustainable national development.

These principles are consistent with the contemporary international «One Health» concept, which recognizes human health, environmental health, and occupational environments as interconnected components of a unified system. Within this framework, ensuring safe working conditions and minimizing occupational exposure to hazardous workplace factors are essential for protecting population health, improving quality of life, and strengthening national security.

2. International Approaches to the Hygienic Standardization of Workplace Aerosol Fractions

At present, occupational exposure to airborne particulate matter in most countries is assessed not on the basis of PM_{2.5} and PM₁₀ particle fractions, but according to the inhalable, thoracic, and respirable particulate fractions, as defined in ISO 7708, Air Quality—Particle Size Fraction Definitions for Health-Related Sampling [4].

Table 1.
Particle Size Fractions Used in Occupational Hygiene

Particle Fraction	Characteristic Particle Size
PM _{2.5}	$\leq 2,5 \mu\text{m}$
PM ₁₀	$\leq 10 \mu\text{m}$
Respirable Dust	Fraction with $d_{50} \approx 4 \mu\text{m}$
Thoracic Dust	$d_{50} \approx 10 \mu\text{m}$
Inhalable Dust /total dust	$d_{50} \approx 100 \mu\text{m}$

As shown in Table 1, the PM_{2.5} fraction is almost entirely encompassed within the respirable dust fraction because it consists of particles capable of penetrating into the deepest regions of the respiratory tract. However, respirable dust represents a broader category of airborne particles, including not only PM_{2.5} but also particles with aerodynamic diameters of up to approximately 4 μm . In contrast, the PM₁₀ fraction is broadly comparable to the thoracic dust fraction, as it contains particles that are predominantly deposited within the upper and central airways without reaching the alveolar region of the lungs.

Inhalable dust is characterized by a 50% sampling efficiency cut-off at an aerodynamic diameter (d_{50}) of approximately 100 μm , meaning that particles of this size have a 50% probability of entering the respiratory tract through the nose or mouth during inhalation. This fraction includes virtually all airborne particles capable of

entering the respiratory system, including coarse aerosols that are primarily deposited in the upper respiratory tract.

Within the U.S. occupational hygiene system, occupational exposure limits (OELs) are not established directly for PM_{2.5} or PM₁₀, as is common in ambient air quality monitoring. Instead, exposure assessment is based on total (inhalable) dust and respirable dust fractions, reflecting the ability of particles to penetrate different regions of the respiratory system.

According to the requirements of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA), the following 8-hour time-weighted average (TWA) permissible exposure limits apply to particulate matter that is not subject to substance-specific occupational exposure standards:

- total (inhalable) dust - 15 mg/m³;
- respirable dust - 5 mg/m³.

It should be emphasized that the respirable dust fraction is not equivalent to PM_{2.5}. Under OSHA particle-selection criteria, respirable particles are defined using sampling devices with aerodynamic cut-off characteristics designed to collect particles capable of reaching the alveolar region of the lungs. For example, particles with an aerodynamic diameter of 2.5 µm exhibit a sampling efficiency of approximately 75%, whereas particles measuring 10 µm have a sampling efficiency close to zero. Consequently, although the respirable fraction partially overlaps with the PM_{2.5} size range, the two metrics are not methodologically equivalent [14].

As in the United States, the member states of the European Union do not establish harmonized mandatory occupational exposure limits specifically for PM_{2.5} and PM₁₀ in workplace air. Instead, occupational hygiene practice is based on particle fractions defined according to their deposition within different regions of the respiratory tract. Occupational exposure assessment is therefore conducted using the inhalable, thoracic, and respirable dust fractions defined by the European Committee for Standardization (CEN) and ISO 7708 [4]. These fractions provide a more accurate representation of the biologically relevant dose of airborne particles reaching the respiratory system of workers.

In Japan, occupational aerosol exposure is likewise regulated according to the mass concentrations of respirable and total dust rather than PM_{2.5} and PM₁₀. According to the recommendations of the Japan Society for Occupational Health (JSOH), occupational exposure limits for dust with no specific toxicological properties are 2 mg/m³ for respirable dust and 8 mg/m³ for total dust. PM_{2.5} and PM₁₀ are used exclusively for ambient air quality monitoring and are not applied to occupational exposure assessment. This approach is consistent with internationally accepted occupational hygiene practice, which is based on aerosol particle-size fractions and the depth of particle penetration into the human respiratory system [15].

Overall, Japan, the United States, and the member states of the European Union do not establish separate occupational exposure limits for PM_{2.5} and PM₁₀ in workplace air. Instead, aerosol exposure in occupational environments is assessed primarily through the monitoring of inhalable and respirable dust fractions in accordance with ISO 7708 [4].

In view of these international practices, Kazakhstan should consider adopting a similar approach when modernizing its national system of hygienic standardization for workplace aerosols. Such harmonization would improve the consistency of national occupational hygiene regulations with internationally recognized standards and best practices.

DISCUSSION

Health Effects of PM_{2.5} Exposure in Workplace Air

Internationally, standards for fine particulate matter in ambient air have been established by the World Health Organization (WHO) and the European Union through official regulatory documents, including the WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide *and the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter* (2006). In major cities worldwide, air quality monitoring primarily focuses on particulate matter with an aerodynamic diameter of less than 10 µm (PM₁₀), one of the most significant indicators of airborne particulate pollution.

In Kazakhstan, the Republican Research Institute for Occupational Safety and Health conducted a study investigating the impact of harmful and hazardous occupational factors on the health of workers employed in the mining industry as determinants of occupational disease. The study found that the most prevalent health conditions involved the musculoskeletal system (36.2%), respiratory diseases (28.9%), and disorders of the nervous system (22.5%). The three most common occupational diseases were radiculopathy (32.1%), chronic bronchitis (27.7%), and mono- and polyneuropathy (15.4%) [9].

Vinnikov D. et al. investigated occupational exposure to fine particulate matter among reinforced concrete production workers in Almaty and assessed its association with respiratory symptoms and pulmonary function. Their findings demonstrated that occupational exposure to PM_{2.5} was significantly associated with adverse respiratory health outcomes, including an increased prevalence of respiratory symptoms and impaired lung function [5].

In Kazakhstan, as in neighboring countries, the occupational burden of respiratory diseases remains high. In particular, chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is frequently observed among welders with long-term occupational exposure [6,7]. Based on these findings, smoking cessation has also been recommended, since tobacco smoking further increases cumulative inhalation exposure. Future research should extend beyond the respiratory effects associated with reinforced concrete production and also investigate the cardiovascular consequences of exposure to fine particulate matter with this specific chemical composition.

Studies conducted among industrial workers have reported:

- elevated workplace concentrations of PM_{2.5};
- significant impairment of pulmonary function;
- increased prevalence of respiratory symptoms; and
- a dose-dependent association between PM_{2.5} exposure and a reduction in the FEV₁/FVC ratio [5].

The authors concluded that occupational exposure to the fine particulate fraction (PM_{2.5}) is a major contributor to respiratory system impairment.

A study conducted by researchers in the United States analyzed the association between monthly average PM_{2.5} exposure and all-cause, cardiovascular, and respiratory mortality across 698 counties in the contiguous United States during the period 1999–2018. The analysis accounted for demographic variables, including age, sex, and race [16].

Both PM_{2.5} and PM₁₀ have substantial adverse effects on human health following both short-term and long-term exposure. However, PM_{2.5} poses a greater health risk because its smaller particle size enables deeper penetration into the respiratory tract and facilitates translocation into the bloodstream, contributing not only to respiratory diseases but also to cardiovascular disorders. Short-term exposure to PM_{2.5} and PM₁₀ has been associated with exacerbations of asthma, bronchitis, and respiratory tract infections, whereas long-term exposure contributes to the development of chronic diseases, reduced life expectancy, and deterioration of overall health status.

Overall, reducing concentrations of fine particulate matter in workplace air represents an essential measure for protecting workers' health and ensuring safe occupational environments.

CONCLUSIONS

The literature review demonstrated that PM_{2.5} and PM₁₀ are among the most hazardous airborne pollutants, exerting substantial adverse effects on human health. International studies consistently report statistically significant associations between exposure to PM_{2.5} and PM₁₀ and increased all-cause, cardiovascular, and respiratory mortality, as well as the development of chronic respiratory diseases.

The findings indicate that the current workplace air hygienic standardization system in the Republic of Kazakhstan is based primarily on total dust concentration, the chemical composition of aerosols, and their fibrogenic potential. Separate occupational exposure limits (OELs) for PM_{2.5} and PM₁₀ have not been established. Instead, dust is regulated according to its type and toxicological properties without explicit consideration of particle-size fractions.

Analysis of the current regulatory framework further confirmed the absence of independent hygienic standards for PM_{2.5} and PM₁₀ in workplace air. At present, the existing limit values for these particulate fractions apply exclusively to ambient air in populated areas, thereby limiting the comprehensive assessment of workplace conditions and the accurate evaluation of occupational risks associated with aerosol exposure.

The scientific evidence reviewed indicates that PM_{2.5} poses the greatest health risk because these particles are capable of penetrating deeply into the pulmonary alveoli and entering the bloodstream. Occupational exposure to PM_{2.5} has been associated with the development of chronic obstructive pulmonary disease (COPD), chronic bronchitis, impaired pulmonary function, increased cardiovascular risk, and premature mortality.

This issue is particularly important for Kazakhstan because of the country's extensive metallurgical, mining, coal, and construction industries, where occupational exposure to industrial dust remains one of the principal workplace hazards. The absence of specific occupational exposure limits for PM_{2.5} and PM₁₀ supports the need for further harmonization of Kazakhstan's national occupational hygiene regulations with contemporary international approaches to workplace aerosol assessment and control.

References

1. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. / R.D. Brook, B. Franklin, W. Cascio, Y. Hong, G. Howard, M. Lipsett, R. Luepker, M. Mittleman, J. Samet, S.C. Smith Jr., I. Tager // *Circulation*. – 2004. – № 109(21). – P. 2655–2671.
2. Japan Society for Occupational Health (JSOH) – Occupational Exposure Limits
3. Pernigotti D., Belis C.A., Spanò L. SPECIEUROPE: The European data base for PM source profiles // *Atmospheric Pollution Research*. –2016. – № 7(2). – P. 307–314.
4. ISO 7708:1995 Air quality — Particle size fraction definitions for health-related sampling
5. Denis Vinnikov, Anel Abenova, Aizhan Raushanova, Venerando Rapisarda «Occupational exposure to fine particulate matter in the reinforced concrete production and its association with respiratory symptoms and lung function» // *BMC Public Health*. -2023. - 23(1):1813. doi: 10.1186/s12889-023-16753-x. P. 2-9.
6. Vinnikov D, Rybina T, Strizhakov L, Babanov S, Mukatova I. Occupational Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease in the Commonwealth of Independent States: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med*. 2021; 7:614827.
7. Vinnikov D, Raushanova A, Kyzayeva A, Romanova Z, Tulekov Z, Kenessary D, et al. Lifetime occupational history, respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease: results from a population-based study. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2019; 14:3025–34.
8. Austin Raul, Azar Abadi, Mark B Fiecas, Yeongjin Gwon, Jesse E Bell, Jesse D Berma. Division of Environmental Health Sciences, School of Public Health, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455. University of Nebraska Medical Center, Omaha, NE 68198. Division of Biostatistics, School of Public Health, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, United States of America. – 2023. P. 5-15.
9. Kurmanov A.M., Rakhmetova A.M., Kulmagambetova E.A., Abdrakhmanova N.B., Sagyndykova N.T. Occupational Risk Factors for the Development of Occupational Diseases among Workers in Mining Enterprises. *Vestnik KazUTB*. 2024;3(24):477–484.
10. Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. Order No. RK DSM-70 of 2 August 2022. Hygienic Standards for Ambient Air in Urban and Rural Settlements and on the Territories of Industrial Organizations.

11. European Commission. Commission Directive (EU) 2019/1831 of 24 October 2019 establishing a fifth list of indicative occupational exposure limit values pursuant to Council Directive 98/24/EC and amending Commission Directive 2000/39/EC.

12. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Number of Employees Working under Harmful and Other Unfavourable Working Conditions in the Republic of Kazakhstan. Series 14. *Labour and Employment Statistics*. 2025.
<https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-wages/spreadsheets/?year=&name=19535&period=&type=>

13. OSHA. 29 CFR 1910.1000 Air Contaminants.

FUNCTIONS OF THE GERUND IN LITERARY DISCOURSE

Voinalovych Liudmyla

Ph.D., Associate Professor

Zhytomyr Ivan Franko State University

The literary text as a special form of speech activity differs from other functional styles primarily in its aesthetic orientation in a way that each grammatical and lexical choice of the author is subject not only to the requirements of accuracy and clarity, but also to the tasks of imagery, rhythm and emotional impact on the reader. That is why the analysis of the functions of individual grammatical categories in the literary text acquires special importance for understanding the author's idiosyncrasy and the mechanisms of artistic expressiveness [1, 302]. The gerund is one of those grammatical means that performs a much broader role in artistic discourse than a purely structural one.

The gerund is a non-finite form of the verb which names a process or a state in a most general way. The gerund as a non-finite form of the verb has nominal and verbal characteristics. The verbal characteristics of the gerund are shown morphologically and syntactically, whereas the nominal features of the gerund are revealed syntactically, mostly through its functioning in a sentence [2, 83]. Thus, the gerund can help the author to perform various functions in the literary text.

First of all, the gerund is an extremely effective means of syntactic compression in a literary text. Due to its ability to combine a process-oriented verbal meaning with a noun-like syntactic position, the gerund allows the author to convey complex, multi-component meanings in an extremely economical form. Instead of the extended subordinate adverbial clause of time (*e.g. After Silvia had read the message, she smiled*), the author can use a short gerundial phrase (*e.g. After reading the message, she smiled*), which preserves the completeness of the content, but provides a dynamic presentation of the material. This property of the gerund is especially important in prose works, where syntactic overload can slow down the pace of the narrative and weaken the reader's attention.

Secondly, the gerund plays an important role in shaping the narrative's tempo and rhythm. The gerund, functioning as an adverbial modifier of time or manner (*e.g. On reaching the place of destination, Greg decided to call Margaret; The morning was spent in taking care of the wounded*), creates the effect of a seamless sequence of actions, lending the narrative segment dynamism and tension. But, on the contrary, when the gerund performs the functions of a subject or predicate (*e.g. Signing up for this course was Andrew's ambition; It was useless lying to the members of the crew; The cousins' favourite pastime was going on the spending spree*), it slows the pace and focuses the reader's attention on a state or process rather than on a specific action, which contributes to a deeper portrayal of the psychological moment.

Thirdly, the gerund plays an important role in conveying the characters' inner world. The characters' internal monologues and streams of consciousness require

grammatical forms capable of conveying lengthy, incomplete or repetitive recollections, intentions and processes. The gerund here serves in the function of a direct object with such phrases as *can't help doing something*, *can't avoid doing something* (e.g. *The audience couldn't help applauding that outstanding statesman; Having entered the conference hall, the manager realized that he couldn't avoid speaking to the head of the department*), or can perform the function of a part of the compound verbal phasal predicate with such a phrase as *keep on doing something* (e.g. *That cold winter evening Steve kept on looking through the window in hope that his mom would return home*). The gerund in these functions focuses not on the result, but on the process of thinking, recollections, doubts, intentions to do/not to do something, observations. It helps to transfer the author's message to the reader through characters' emotions and feelings.

Thus, the gerund plays an important role in the literary discourse. It performs the functions that go far beyond grammatical ones. It serves as a means of syntactic compression, a tool for forming the tempo and rhythm of the narrative, a way of conveying the inner world of characters and creating a psychological atmosphere.

References

1. Яровенко Л. С., Болдирева А. Є. Особливості передачі герундія та герундіальних комплексів у перекладі. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Філологія. Журналістика. 2021. т. 32(71), № 1, ч. 2. С. 301–307.
2. Котнюк Л.Г., Білюк І.Л., Євченко В.В., Зорницька І.В., Левченко О.М. Неособові форми дієслова: Навчальний посібник (англійською мовою) / Котнюк Л.Г., Білюк І.Л., Євченко В.В., Зорницька І.В., Левченко О.М. – Житомир: ЖККГВ «Полісся», 2019. – 322 с.

OZONE FORMATION IN THE MICRODISCHARGE CHANNEL IN THE BARRIER DISCHARGE

Alakbarov Shahin Shamshad oglu

Ph.D., Associate Professor

Baku State University

Abstract: In the presented paper investigated the physical processes occurring in microdischarge channels, which play a key role in ozone production in barrier discharge ozonizers. It also examines the pressure increase within the channel as current passes through the microdischarge channel, and the distribution of the electric field and current within the microdischarge channel. Calculations show that it is impossible to produce ozone of such a high concentration in the discharge region of barrier discharge ozonizers at a gas pressure of 1.4 atm, which corresponds to the maximum ozone concentration. The current density in the microdischarge channel was determined to be approximately 100 A/cm^2 . Research shows that the magnetic field generated around such a high current compresses ions around the microdischarge channel toward the center of the channel, resulting in an additional pressure of approximately 10 atm within the channel. Under these conditions, the ozone concentration in pulsed barrier discharge ozonizers corresponds to the values obtained in the experiments.

Keywords: Ozone, ozone generators, barrier discharge, microdischarge, microdischarge channel, pressure, gas, current density, magnetic field, ion.

1. Introduction

Despite its discovery in 1785, ozone (O_2) is widely used in many areas of science and practice today. This is primarily due to the fact that ozone has a relatively high oxidation potential (2.07 on the Pauling scale) and, upon oxidation, is completely converted into harmless oxygen [1-19]. On the other hand, it should be remembered that ozone in the troposphere (10%) and stratosphere (90%) protects living organisms on Earth from high-energy ultraviolet radiation from the Sun.

Despite extensive research and application of ozone, the mechanism of ozone formation in a gas discharge remains poorly understood. Given that the main physical and chemical processes in a gas discharge occur in the microdischarge channel, it is clear how important it is to study the mechanism of ozone formation in the microdischarge channel.

According to literature, barrier discharge ozone generators operating in pulsed mode are considered the most effective, with efficiency reaching $\sim 0,2 \text{ kg/kVt} \cdot h$ (at a discharge pressure of $\sim 1,4 \text{ atm}$) [2]. Calculations show that under such conditions, the efficiency of ozonizers should be at least half that. This discrepancy is resolved by taking into account the additional pressure created in the channel due to the high currents flowing through it.

2. Method of calculation

Ozonizers operating in pulsed mode are known to have a voltage drop of $\approx 2 \text{ kV}$ per mm of discharge region. In this case (1 atm, temperature 300 K), numerous microdischarges with a duration of 10–50 ns and an energy of $5 - 10 \text{ } \mu\text{C}$ occur between the barriers. Considering that the channel diameter is $0.3 - 1 \text{ mm}$, and the amount of charge transferred during a microdischarge is $(2 - 10) \cdot 10^{-10} \text{ C}$, then the current density in the microdischarge channel is 100 A/cm^2 .

Fig. 1 shows a photograph of microdischarges occurring in the discharge gap [3].



Fig. 1. Photograph of microdischarges.

Considering that the charges transferred during the microdischarge form a disk-shaped spot with a diameter of 15–17 mm on the dielectric barrier [1], and that the microdischarge channel is sharp, then it is known that the electric field is distributed unevenly in the axial and radial directions of the microdischarge. Thus, when a large current flows through the channel as a pulse, a magnetic field is created around the channel. The positively charged ions moving in this field are acted upon by the Lorentz force (Fig. 2.), directed toward the channel axis. In this case, the pressure distribution in the radial direction from the channel axis has the form:

$$-dp = \frac{dF_L(r)}{S} = \frac{q_{(+)}v dB(r)}{S} = \frac{q_{(+)}}{S} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}} \cdot \frac{j ds}{2\pi r} = \frac{j q_{(+)}}{S} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}} \cdot dr \quad (1)$$

Here F_L – is the Lorentz force, S – is the area of the lateral surface of the channel, $q_{(+)}$ – is the charge of positively charged ions, e – is the charge of an electron, U – is the voltage drop across the discharge gap, m_i – is the mass of positively charged ions, j – is the current density in the channel, ds – is the elementary area over which charges move in a magnetic field, r – is the distance from the channel axis.

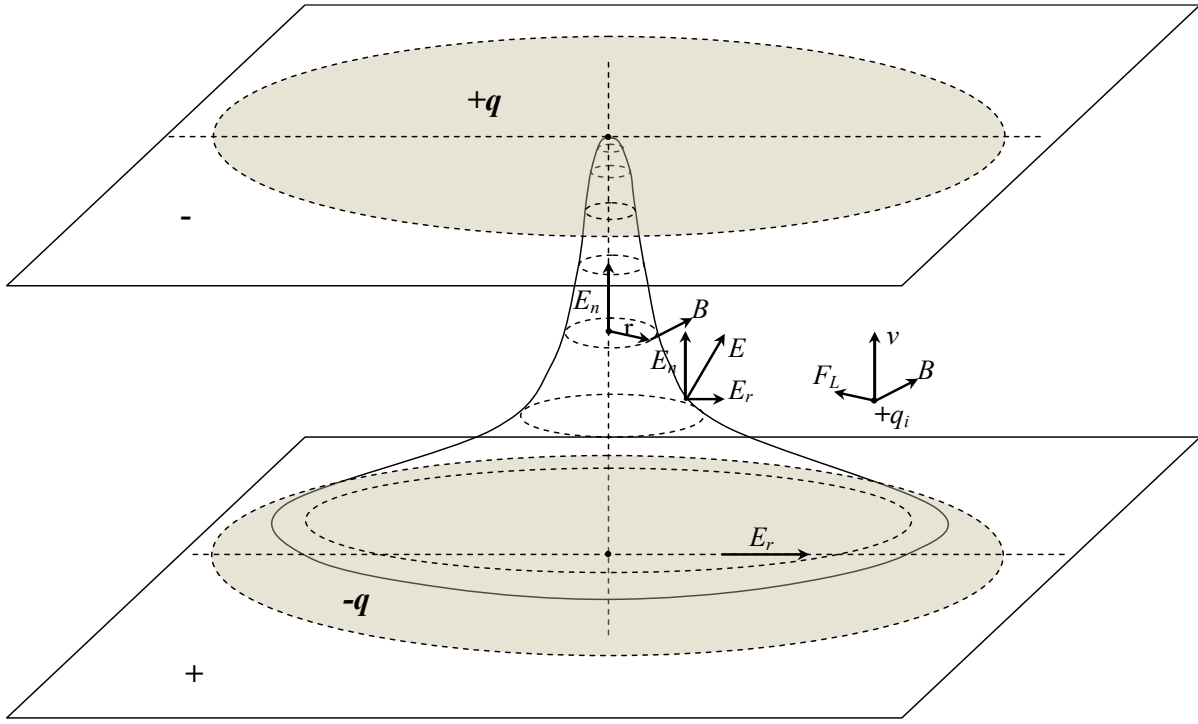


Fig. 2. Schematic diagram of a microdischarge channel.

Let us express the current density j in expression (1) through the pressure p . It is known that, according to the kinetic theory of gases in a gaseous medium, the mean free path of molecules is equal to

$$\lambda = \frac{M v_M^2}{3\sqrt{2}\pi\delta^2 p_0}, \quad (2)$$

here M is the mass of the molecule (atom), v_M^2 is the root-mean-square velocity of the molecules, δ is the effective diameter of the molecules, and p_0 is the gas pressure.

In our case, in expression (2) we can write

$$\lambda = \frac{k_1}{p_0}, \quad (3)$$

assuming that $M = m_e$, $v_{m_e}^2 = \frac{2eU}{m_e}$ and $k_1 = \frac{m_e v_{m_e}^2}{3\sqrt{2}\pi\delta^2}$.

It is known that for ozone to form, oxygen molecules must initially dissociate into atoms. It is clear that during this time, ionization of both oxygen atoms and molecules, as well as other atoms and molecules (for example, nitrogen in air), can occur in the gaseous medium. In our case, the distance an electron must travel, accelerating in an electric field corresponding to the voltage drop in the discharge gap, to obtain an energy equal to the dissociation energy of the oxygen molecules is:

$$\chi = \frac{W_{diss}}{E} = \frac{W_{diss} \cdot l}{U}. \quad (4)$$

Here W_{diss} – is the dissociation energy of the oxygen molecule, E – is the electric

field strength in the discharge gap, U – is the voltage drop across the discharge gap, and l – is the size of the discharge gap or the distance between the barriers.

From a comparison of the numerical values calculated for this case of expressions (2) and (4):

$$k_2 = \frac{\lambda}{x} = \frac{1,6 \cdot 10^{-6} m}{5,14 \cdot 10^{-8} m} \approx 31, \quad (5)$$

As can be seen from expression (5), when an electron travels a distance equal to the mean free path, it collides with oxygen molecules approximately 31 times and dissociates them. It logically follows that when the distance between oxygen molecules, as well as the mean free path of an electron, decreases by a factor of 31 and, accordingly, the pressure in the microdischarge channel increases by a factor of 31 (31 atm), the dissociation of oxygen molecules in the gas medium also occurs. At higher pressures in the microdischarge channel, the process of dissociation of oxygen molecules in the gas medium ceases. This pressure value in the microdischarge channel corresponds to the maximum energy release of ozone and, accordingly, the ozone concentration in the microdischarge channel. On the other hand, if we take into account that the ionization potential of an oxygen molecule is 12.06 eV, it becomes clear that at a pressure in the microdischarge channel of approximately 13.3 atm, the process of ionization of oxygen molecules in the gas medium begins to slow down. From the above, it follows that the maximum pressure in the microdischarge channel is approximately 13.3 atm. The pressure in the channel during a microdischarge reaches this value (13.3 atm) when the ozonizers are operating, which is accompanied by a characteristic sound—an electroacoustic effect.

Based on the above:

$$k = \frac{p_0}{p} \approx 13,3 \text{ atm} \quad (6)$$

Considering that the current density in the microdischarge channel is directly proportional to the pressure and inversely proportional to the magnetic field:

$$j = k P / B \quad (7)$$

Considering expression (7) in expression (1):

$$\frac{dp}{p} = k \frac{pq_{(+)}}{BS} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}} \cdot dr = -k \frac{2\pi q_{(+)}}{Si} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}} \cdot r dr \quad (8)$$

From here

$$p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{k\pi q_{(+)}r^2}{Si} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}\right) = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{k\pi q_{(+)}r^2\tau}{SQ} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}\right) \quad (9)$$

According to the pressure inside the channel

$$p_0 = p \cdot \exp\left(\frac{k\pi q_{(+)} r^2 \tau}{SQ} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}\right) \quad (10)$$

or

$$p_0 = p \cdot e^{\frac{k\pi q_{(+)} r^2 \tau}{SQ} \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}} \quad (11)$$

Calculations based on this expression show that the pressure inside the channel is $\sim 13,3$ atm.

Thus, conditions are created for producing ozone in a sufficiently high concentration inside the microdischarge channel at high pressure. The acceleration of ozone formation under such conditions within the microdischarge channel is also consistent with Le Chatelier's principles. After the microdischarge is extinguished, the ozone-air or ozone-oxygen mixture, compressed to high pressure within the channel before a new microdischarge occurs, is uniformly distributed across the discharge gap. The high pressure within the microdischarge channel manifests itself in an electroacoustic effect occurring in the discharge gap during a barrier discharge.

3. Conclusion

The results obtained in this article may be useful in creating new, more efficient ozonizers, determining the optimal operating mode for ozonizers, and improving their efficiency.

Furthermore, the results obtained in this study are of great importance for elucidating the internal structure of the microdischarge channel, the physical and chemical processes occurring in the microdischarge channel, both qualitatively and quantitatively, for understanding and calculating the peak output energy and ozone concentration of ozonizers, and for determining the distribution and values of pressure and ions in the radial and axial directions within and around the microdischarge channel.

References

1. N.A.Mamedov, B.B.Davudov, K.M.Dashdamirov, G.M.Sadikhzade, J.N.Jabarov, Sh.Sh.Alakbarov. Influence of physical processes in dual barrier discharge gap to electro synthesis of ozone. 4th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering, 4-6 September, Pitesti, Romania, 2008, pp.IV-37 – IV-40.
2. N.A. Mamedov, B.B. Davudov, G.M. Sadygzade, Sh.Sh. Alakbarov, Sh.A. Allahverdiyev. Dependence of active power on the frequency of the operating voltage and gas pressure in a double-barrier gas discharge. Proceedings of the IX Republican Scientific Conference "Actual Problems of Physics." BSU, December 22, 2016, pp. 51–55.

3. Евгений Силкин. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. Компоненты и технологии, №6, 2008, ст. 136-143.
4. M. Meziane, O. Eichwald, J.P. Sarrette, O. Ducasse, M. Yousfi. 2D simulation of active species and ozone production in a multi-tip DC air corona discharge. European Physical Journal: Applied Physics, EDP Sciences, 2011, 56 (2), pp.24005. □10.1051/epjap/2011110154. hal-00746202
5. G. P. Panta, D. P. Subedi, H. B. Baniya, A. P. Papadaki and S. Dhungana. An Experimental Study of Co-Axial Dielectric Barrier Discharge for Ozone Generation. JNPS 6 (1), 84-89 (2020)
6. Ruggero Barni, Ilaria Biganzoli, Elisa Dell'Orto, Claudia Riccardi. Effects of a pulsed operation on ozone production in dielectric barrier air discharges. Letters in Applied NanoBioScience, Volume 3, Issue 2, 2014, 167-171.
7. Muhammad Nur, Ade Ika Susan, Zaenul Muhlisin, Fajar Arianto, Andi Wibowo Kinandana, Iis Nurhasanah, S. Sumariyah, Pratama Jujur Wibawa, G. Gunawan, Anwar Usman. Evaluation of novel integrated dielectric barrier discharge plasma as ozone generator. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 12 (1), 2017, 24-31.
8. Hasna Guedah, Alyen Abahazem, Nofel Merbahi, Mohamed Yousfi, Karim Saber, Ahmed Ihlal. Experimental investigation of effects of electric operating parameters on pulsed corona discharges in humid air at atmospheric pressure. Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation, 2018, 8, 49-64.
9. G. Horvath, J. D. Skalny, J. Orszagh, R. Vladioiu, N. J. Mason. Influence of the Outer Electrode Material on Ozone Generation in Corona Discharges. Plasma Chem Plasma Process (2010) 30:43–53.
10. Zolkafle Buntat, Ivor R. Smith, Noor. A. M. Razali. Ozone generation by pulsed streamer discharge in air. Applied Physics Research. Vol.1, No.2, November 2009, pp. 2-9.
11. Muhammad Nur, Aris Supriati, Dyah Hari Setyaningrum, Gunawan, Mohammad Munir, Sumariyah. Ozone generator by using dielectric barrier discharge plasma technology with spiral-cylinder configuration: comparison between oxygen and air as sources. Berkala Fisika, Vol . 12, No.2, April 2009, hal 69-76.
12. Gobinda Prasad Panta, Hom Bahadur Baniya, Santosh Dhungana, Deepak Prasad Subedi and Antonis Papadaki. Ozone production in cylindrical co-axial double dielectric barrier discharge ozone generator. Walailak J Sci & Tech 2021; 18(13): 9856.
13. W. J. M. Samaranayake, Y. Miyahara, T. Namihira, A. S. Katsuki, R. Hackam and H. Akiyama. Ozone production using pulsed dielectric barrier discharge in oxygen. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No.6, December 2000, pp. 849-854.
14. Mehdi Ghazanfar, De Georgi Maria Grazia, Fontanarosa Donato, Bonuso Sara, Ficarella Antonio. Ozone production with plasma discharge: comparisons between activated air and activated fuel/air mixture. Proceedings of ASME Turbo Expo 2021 Turbomachinery Technical Conference and Exposition GT2021 June 7-11, 2021, Virtual, Online, GT2021-60167, pp. 1-10.
15. Stanislav Pekareka and Jan Mikes. Temperature-and airflow-related

effects of ozone production by surface dielectric barrier discharge in air. *Eur. Phys. J. D* (2014) 68: 310. DOI: 10.1140/epjd/e2014-50393-x, pp. 1-8.

16. G. P. Panta, H. B. Baniya, S. Dhungana, D. P. Subedi, A. P. Papadaki. Ozonizer design by using double dielectric barrier discharge for ozone generation. *The African Review of Physics* (2020) 15: 0007, pp. 43-54.

17. J.Orszagh, G. Horvath, S. Matejčík, J. D. Skalny, N. J. Mason. The ozone generation in positive and negative dc corona discharges fed by dry oxygen: effect of gas flow rate. 28th ICPIG, July 15-20, 2007, Prague, Czech Republic, pp.975-978.

18. Xiuyue Wang, Ye Yuan, Zheyuan Ding, Junna Yang, Yulian Wang, Siming Li, Yu Ding, Yawei Li, Min Wang, Mingbo Wu. Status and prospects of anode materials for efficient electrochemical ozone production. *Energy Reviews* 4 (2025) 100129, pp.1-14.

THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE FUNCTIONING OF UKRAINE'S POLITICAL REGIME

Kachurovskyi Orest

Postgraduate Student

Department of Political Science and Philosophy

Named after Serhii Konoval

Western Ukrainian National University

Amid the rapid development of the information society, the growing role of social media, and the widespread use of information and communication technologies (ICTs) across various spheres of social life, the study of the impact of digitalization on the functioning of the political regime in contemporary Ukraine is becoming increasingly relevant. This issue is particularly important because, as the overwhelming majority of scholars argue, Ukraine's current situation is shaped by ongoing transformation processes at both the state and societal levels, as well as by the persistent threat posed by a belligerent aggressor [3, c. 106].

In times of war and existential threats, societies tend to unite around issues of defense. The technological modernization of the armed forces and the security system emerge as a crucial factor of national mobilization and cohesion [10, c. 410].

A new and great example of a large-scale technological transformation in the field of defense is Ukraine, which, after the start of armed aggression by the Russian Federation in 2014, and especially after the full-scale invasion in 2022, became one of the first training grounds for the combat use of modern digital solutions [10, c. 403].

The transformation of Ukraine's political regime is an important subject that is continuously discussed within Ukrainian political discourse. This issue has received considerable attention in the works of prominent Ukrainian political scientists, including S. Vonsonovych, H. Zelenko, A. Hanzha, H. Kuts, Yu. Matsiievskyi, M. Trebin, and O. Fisun [4, c. 136].

For a comprehensive understanding of the concepts of «digitalization» and «digital transformation», it is important to consider the works of Ukrainian and foreign scholars, including B. van Ark, S. Brennan, O. Burbelo, P. Weill, O. Vyshnevskyi, S. Warner, O. Hudz, V. Kralich, D. Kreiss, J. Licklider, V. Liashenko, Yu. Nikitin, J. Stiglitz, H. Tkachuk, and H. Chmeruk.

Various aspects of the transformation of the public sphere under the influence of digitalization have been examined in the works of H. Bang, J. Blumler, M. Gurevitch, L. Dahlberg, W. Dutton, M. DeLuca, I. Ishchenko, N. Couldry, S. Coleman, and J. Peoples [1, c. 17].

«Digitalization» is a concept that has become widely used across various spheres of social life; however, contemporary scholarship has yet to establish a unified interpretation of its meaning.

According to the existing definition in the «Oxford Learner's Dictionaries»: «digitalisation – the process of changing data into a digital form that can be easily read and processed by a computer» [9].

According to the definition proposed in the «Cambridge Dictionary»: «digitalisation – the process of changing something such as a document to a digital form (= a form that can be stored and read by computers), or the use of digital technology to do something» [8].

According to the «Concept for the Development of the Digital Economy and Society of Ukraine for 2018–2020»: «digitalization is the saturation of the physical world with digital electronic devices, tools, and systems, as well as the establishment of electronic communication and exchange among them, which effectively enables the integrated interaction of the virtual and physical dimensions, thereby creating a cyber-physical space» [6].

Experts from the independent think tank «Ukrainian Institute for the Future» define «digitalization» as follows: «It is the introduction of digital technologies into all spheres of life, ranging from interpersonal interaction to industrial production and from household items to children's toys, clothing, and other goods. It involves the transformation of biological and physical systems into cyber-biological and cyber-physical systems, which combine physical and computational components. It also entails the transfer of activities from the physical world to the virtual, or online, environment» [7].

The existing definitions demonstrate that digitalization is oriented toward society and its modernization. The growing trend of digitalization has also extended into the political sphere, as evidenced by the use of information and communication technologies in political processes, public administration, and political communication [3, c. 106–107].

Accordingly, digitalization, understood in a broader sense, gives rise to a renewed paradigm for conducting political processes, thereby contributing to the emergence of the phenomenon of digital politics. Digital politics may be defined as a set of principles, mechanisms, and instruments for structuring political discourse under the influence of the mediatization of political reality, including optimal approaches to the use of digital infrastructure [1, c. 19].

Thus, promoting digital development and advancing digitalization have become key priorities of contemporary public policy. Such policy should ensure the effective performance of state functions in the context of digital transformation and facilitate the integration of digital technologies into all spheres of social life, while strictly adhering to the fundamental principles of digital security and protecting digital rights and the interests of citizens, society, and the state [1, c. 19–20].

As politics is transformed under the influence of ICTs, the development of e-democracy, e-government, and electronic governance is accompanied by the emergence of a digital bureaucracy. This process entails the creation and implementation of new instruments for interaction between the subjects and objects of political and administrative activity. Under such conditions, digital bureaucracy may, to a certain extent, help mitigate the negative consequences of ineffective reforms in various spheres of social life. In Ukraine, for example, an online environment for improving interaction between the state and society has been developed through the

«State in a Smartphone» initiative and the Diia («State and Me») digital platform [3, c. 108].

It should be noted that Ukraine has chosen a course toward integration into the global information space, the development of an information society, and the establishment of electronic democracy. According to the 2017 «Concept for the Development of Electronic Democracy in Ukraine», «the primary objective is to create the political, organizational, technological, and ideological conditions necessary for the development of electronic democracy in Ukraine. Such democracy is characterized by the broader involvement of citizens in communication and cooperation with public authorities, oversight of their activities, participation in policymaking, the development of self-organization and self-government, and an increased level of trust in public authorities, as well as by the alignment of national policy standards in this field with international, particularly European, standards» [5].

Thus, Ukraine is currently undergoing far-reaching transformational changes that entail both significant risks—including cybersecurity threats and challenges related to the protection of personal data and state secrets—and considerable opportunities for improving the mechanisms of democratic governance. The country is gradually democratizing its system of public administration, seeking to establish a genuine rule-of-law state and to ensure the effective democratization of all spheres of governance. This process involves reforming law enforcement agencies, counteracting the spread of corrupt influence, and safeguarding the independence of the Ukrainian judiciary. Ukraine's existing political regime should therefore be regarded as dynamic, as it remains subject to ongoing reforms aimed at establishing a stable democracy capable of ensuring the effective development and survival of the state [2, c. 198–199].

Digitalization is one of the key drivers of the transformation of Ukraine's contemporary political regime and public administration system. The introduction of e-governance, digital administrative services, electronic democracy instruments, and new channels of communication between public authorities and citizens contributes to improving the efficiency, accessibility, transparency, and accountability of administrative processes. At the same time, digital transformation changes not only the technical means through which public administration is carried out but also the nature of relations between the state and society, expanding opportunities for civic participation in the formulation and implementation of public policy, as well as in public oversight of its implementation. These processes acquire particular significance under martial law, when digital technologies ensure the continuity of state institutions, the provision of administrative services, information exchange, and the institutional resilience of the public administration system. At the same time, the effectiveness of digitalization depends on the proper protection of personal data, the maintenance of cybersecurity, the reduction of the digital divide, and the prevention of risks associated with the excessive concentration of informational and supervisory powers within public authorities. Thus, provided that the principles of the rule of law, human rights protection, openness, and accountability of public authorities are upheld, digitalization can become an effective instrument for improving public management and

administration, strengthening democratic institutions, and enhancing the resilience of Ukraine's political regime.

References

1. Дібікова Ю. С. Цифровізація політичного простору в Україні: проблеми та тенденції. *Сучасне суспільство*. 2021. № 2 (23). С. 15–25.
2. Качуровський О. П. Специфіка функціонування політичного режиму в сучасній Україні. *Сучасні інформаційні технології в освіті і науці* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 29–31 лип. 2024 р. Прага : European Conference, 2024. С. 196–199. URL: <https://eu-conf.com/en/events/modern-information-technologies-in-education-and-science/>
3. Милосердна І. М., Краснополська Т. М. Процес цифровізації в політиці: межі пізнання та особливості трансформації. *Актуальні проблеми політики*. 2022. № 70. С. 106–113.
4. Пашков В. О., Хомерікі О. А. Політико-режимні трансформації в Україні (1991-2019): біг по колу на шляху до демократії. *Вісник Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого*. 2023. № 1 (56). С. 135–158.
5. Про схвалення Концепції розвитку електронної демократії в Україні та плану заходів щодо її реалізації : Розпорядження КМУ № 797-р від 8 листопада 2017 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/797-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 16.07.2026).
6. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації : Розпорядження КМУ № 67-р від 17 січня 2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 16.07.2026).
7. Україна 2030Е – країна з розвинутою цифровою економікою. *Український інститут майбутнього*. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html#6-2-1> (дата звернення: 21.06.2026).
8. Digitalization. *Cambridge Dictionary*. URL: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/digitalization?q=digitalisation> (date of application: 21.06.2026).
9. Digitalization. *Oxford Learner's Dictionaries*. URL: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/digitalization?q=Digit+alization> (date of application: 21.06.2026).
10. Kachurovskiy O. P., Buzarov A., Taran Y., Mynko O., Sogorin A. National Security and New Technologies: The Impact of Digitalization, Innovation, and Artificial Intelligence on the Effectiveness of Security and Defense Forces. *International Journal of Safety and Security Engineering*. 2026. № 16 (2). P. 403–412. URL: <https://doi.org/10.18280/ijssse.160215>

ТРАНСФОРМАЦІЯ ДИСТРИБУЦІЇ ГОТЕЛЬНИХ ПОСЛУГ ПІД ВПЛИВОМ МЕТАПОШУКОВИХ СИСТЕМ

Мельник Ірина Леонідівна,
кандидат економічних наук, доцент
кафедри туристичного та готельного бізнесу
Національний університет харчових технологій

Цифрова трансформація процесів дистрибуції у готельному бізнесі зумовила необхідність переосмислення підходів до управління каналами продажу готелів для реалізації низки стратегічних переваг, зокрема: донесення інформації до більшого числа потенційних клієнтів за короткі терміни; більш потужний вплив на аудиторію; підвищення впізнаваності бренду і лояльності до нього з боку клієнтів; прозорість вимірювання результатів маркетингової кампанії і можливість вносити коригування в режимі реального часу; менші витрати в порівнянні з традиційною рекламою [1].

Побудова ефективної маркетингової стратегії готельних підприємств передбачає комплексне використання інструментів роботи з пошуковими та метапошуковими системами для розвитку прямих каналів продажу.

Платний пошук (Paid Search або PPC – Pay-Per-Click) є важливим елементом цифрового маркетингу в готельному бізнесі, який передбачає купівлю рекламного простору у пошукових системах на основі заданих ключових слів. Використання стратегії захисту бренду в платному пошуку передбачає систематичне придбання готелем рекламного простору за ключовими словами, що містять назву готелю, забезпечуючи пріоритетну видимість серед результатів пошукових систем [2]. Зазначену стратегію активно використовують 4-и та 5-и зіркові готелі, що дозволяє отримати понад 30% доходів від прямих бронювань [3], зокрема, у країнах Європи у 2023 році 4-и зіркові готелі – 31%, 5-и зіркові – 38%. Також готелі налаштовують платний пошук для просування власних унікальних характеристик (наприклад, «готель з басейном», «готель у центрі міста» чи «готель з спа-центром»), та найтипівіших запитів потенційних споживачів (наприклад, «найкращий готель для відпочинку», «готель all-inclusive»). Визначення ключових слів, як базового елементу управління платним пошуком, формує зв'язки між споживачами та рекламними повідомленнями готелю. У фокусі команди маркетингу готелю для ефективного управління платним пошуком перебувають: ретельний підбір ключових слів; аналіз поведінки користувачів; оптимізацію ставок; тестування рекламних текстів; вимірювання коефіцієнтів конверсії.

Метапошукові системи (metasearch engines) направляють користувачів до сторонніх веб-сайтів – офіційного сайту готелю або ОТА. Найбільшу частку ринку сьогодні займає спеціалізований пошуковий сервіс для готелів, який інтегрується з офіційним профілем готелю в глобальній системі, дозволяючи

безпосередньо конкурувати з ОТА за перехід користувача на офіційний сайт готелю [2].

Якщо пошукові системи формують загальний трафік та використовуються на перших етапах воронки продажів готельних послуг, то метапошукові системи генерують висококонверсійний трафік, надаючи інформацію про порівняння цін і варіантів бронювання на етапі прийняття рішення. Для ефективного метапошуку готелі співпрацюють з компаніями, що надають спеціалізовану технологічну інфраструктуру.

Сучасним етапом розвитку дистрибуції готельних послуг є синергія реклами та метапошуку. За допомогою Performance Max for Travel Goals готельні підприємства розгортають комплексні маркетингові кампанії.

Performance Max for Travel Goals використовує алгоритми ШІ для автоматизованого розміщення реклами через усі канали глобальної медіаекосистеми: платний пошук, медійні оголошення, відеохостинг, рекламу в сервісах метапошуку, а також на онлайн-картах і у персоналізованих стрічках рекомендацій. Ключова перевага даного інструмента полягає в єдиному налаштуванні кампанії, яка автоматично оптимізується залежно від етапу подорожі, на якому перебуває потенційний споживач: від формування намірів до безпосереднього бронювання. Система виявляє поведінкові сигнали користувачів у режимі реального часу, що дозволяє максимально точно адресувати рекламні повідомлення і зменшити витрати на неефективні покази [2].

Застосування інструментів цифрового маркетингу, зокрема програм з автоматизованим таргетингом, персоналізацією пропозицій та аналітикою поведінки споживачів, надає готельним підприємствам нові можливості для посилення конкурентних позицій на ринку.

Список літератури

1. Марусей Т. І. Пріоритети розвитку digital-маркетингу готельного бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2021. № 26. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-76>
2. Примак Т., Мельник І., Антоненко І. Сучасні інструменти готельного маркетингу для збільшення прямої дистрибуції готельного продукту. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2026. № 26. С. 299-310. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2025.26.32>
3. Hotel Distribution Report 2024 «Have Direct Bookings Reached a Peak?». Agency D-EDGE. URL: <https://www.d-edge.com/wp-content/uploads/2024/04/Hotel-Distribution-Report-2024-EN.pdf>

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE GLOBAL AIR CARGO MARKET

Tamargazin Oleksandr,

Doctor of Technical Sciences, Professor
Kyiv State University "Kyiv Aviation Institute"

The current situation in the global economy is characterized by an increase in passenger traffic, although it is unstable due to the instability of the global and regional economies. This is primarily due to the Gulf War and sanctions against Russia, which affect not only Russia's economy but also other global economies, including the United States. At the same time, structural shifts in international trade and the development of economic sectors largely depend on the development of the global transportation system. The globalization of international trade and the transnationalization of large corporations imply the free movement of resources and goods, which is objectively linked to the dynamics of the transportation system. Thus, the development of the international transportation services market, including air transport, determines global economic trends.

The creation of an innovative, dynamically developing civil aviation fleet and the creation of conditions for the sustainable operation and development of a balanced regional air transport system are essential factors for stabilizing and boosting national economies and improving living standards. Achieving these goals opens up opportunities for aircraft manufacturers and operators to secure competitive advantages and successful, promising positions in the global air transportation market.

Aviation is one of the leading sectors of the global economy. Advances in technology and service make it an effective tool for the development of the modern global economy and society. Air cargo transportation, by connecting geographically distant markets, is a key factor in stimulating economic growth in various regions of the planet. The ability to quickly transport general and special cargo, including high-value high-tech products and perishable goods, ensures economic growth in trading regions, particularly for small island states and landlocked developing countries. For example, at least 70 % of food products delivered to the UK by air are shipped from the world's poorest countries. Therefore, in such areas, air cargo transportation plays a vital role in the transport system's vitality. According to ICAO [1], the development of air cargo route networks worldwide can provide significant economic benefits to regions and countries, including through increased productivity. The development of new markets increases the volume of export-import transactions between regions, while in the domestic market of each region, competition and the opportunity to choose imported goods grow.

Over the past decades, the role of air cargo transportation in the global economy has steadily grown, despite the COVID-19 pandemic and military conflicts around the world. According to IATA, the dynamics of international air cargo turnover in recent years have been quite volatile [2].

2020–2021 – The COVID-19 pandemic hit air travel hard, with routes closed and

traffic volumes declining. However, a sharp recovery began in 2021, with the industry reaching new records.

2022–2023 – Amid a recovery in global trade and the rapid growth of e-commerce, demand for air cargo continued to increase. This was partly due to disruptions in logistics, including problems along maritime routes (such as the attacks in the Red Sea), which forced some cargo to be shipped by air.

In 2024, global civil aviation cargo turnover increased by 11.3 % compared to 2023. The Asia-Pacific region experienced particularly strong growth (approximately 14.5 %).

2025 – Air cargo growth continued, but at a more moderate pace. The global air cargo market reached record volumes. Overall demand growth was +3.4 % compared to 2024 (+4.2 % for international shipments). Market capacity increased by 3.7 % (+5.1 % for international operations). As in the previous year, Asia-Pacific airlines contributed the most (+8.4 %), while North American airlines declined (-1.3 %). Thus, 2025 will be the best year in the history of global air cargo transportation, fueled by the growth of e-commerce and the intensification of trade flows between Asia and Europe.

Air cargo growth is expected to slow further in the first half of 2026, to around 2.6 %, amid global trade and policy changes.

At the same time, World Trade Organization data show that approximately 25 % of global supplier companies rely on air transport for their annual exports. Furthermore, for nearly 70 % of exporters, the ability to quickly deliver cargo by air is a key factor in business success. According to research by Boeing, global trade is expected to grow by 5.1 % between 2026 and 2030 and continue to grow at an average rate of 3 % until 2043 [3]. At the same time, global trade will grow faster than GDP, including due to the further development of e-commerce, global revenues from which reached US\$5.8 trillion in 2025 and, according to Boeing Corporation forecasts, will increase to US\$9 trillion by 2030.

E-commerce, which was experiencing rapid growth prior to the COVID-19 pandemic, has increased its impact on the air cargo market as more and more global companies launch online sales and increase e-commerce volumes. In 2025, the volume of express air cargo shipments will increase by 4.2 % compared to 2024.

The future dynamics of the global market will largely depend on economic growth in both developed and major developing countries, as well as on the stabilization and growth rate of global trade.

In recent decades, new high-tech products with short life cycles and products with stringent logistics requirements have been regularly emerging. All these factors will ensure growth in the air cargo market in the near future, despite geopolitical factors. According to World Trade Organization forecasts, countries in the Asia-Pacific region will remain the main generator of trade flows in the future, while cargo flows to Europe will grow dynamically. At the same time, it's worth noting the challenges facing air cargo transportation, which are limiting the development of civil aviation:

- the underdevelopment of logistics systems in many countries that could be integrated into air cargo transportation, including the inadequacy of the ground base

for servicing cargo transportation to meet modern requirements;

- lack of competitiveness of air cargo carriers from many countries located in the Eurasian air cargo transportation segment;
- insufficient development of a significant portion of airports, including in relation to their capacity to handle cargo transportation;
- insufficient technical equipment at airports, including runway wear in regions that are in dire need of air cargo transportation;
- discrepancy between the ground production base and the current and future intensity of transportation;
- unsatisfactory level of automation and quality of cargo handling in aviation hubs.

It's also worth noting that American air carriers currently account for just over 50 % of the global cargo fleet, with an average age of approximately 25 years. This is partly due to a government program in the region, which allows American cargo airlines to reduce their operating costs and the cost of acquiring new aircraft through government investment from the US Department of War. The route network and structure of air cargo transportation in the Asia-Pacific region are currently being expanded, including through the implementation of the China transport project. Increased transport flows between Latin American and Asian countries will have a significant impact on the development of air cargo transportation systems in dynamically developing countries.

Thus, the growth in global cargo turnover will be ensured not only by regions with a developed cargo transportation system on specialized aircraft (USA, China, etc.), but also by countries such as Vietnam, Indonesia, Malaysia, Iran, Brazil, and Chile.

As noted above, the drivers of growth in air cargo transportation in the coming decades will be the development of e-commerce (fast delivery is needed), demand for urgent cargo (pharmaceuticals, microelectronics, components with strict requirements for delivery times and temperature conditions), as well as situations where aviation offers an alternative to slower sea transport.

Limiting factors include geopolitical instability (airspace closures, risks at key transit hubs), sanctions (especially for individual countries that are changing the geography of their transport flows and difficulties with servicing their aircraft fleets), a shortage of cargo aircraft, and infrastructure bottlenecks at individual aviation hubs.

Thus, ongoing geopolitical tensions will continue to impact the air cargo route network. Conflicts or new sanctions packages could lead to the closure of individual corridors, requiring air carriers to restructure their supply chains and find alternative routes (which sometimes leads to increased costs and delays). There also remains the risk of increased protectionist measures, which could indirectly restrict trade and, consequently, air cargo transportation.

At the same time, the aviation industry is demonstrating flexibility. Companies are actively developing multimodal solutions (combining aviation with other modes of transport to optimize costs) and expanding cooperation with new partners in Asia, the Middle East, and other regions of the world. Trade digitalization continues, with the introduction of end-to-end cargo tracking systems and electronic waybills, increasing transparency and efficiency.

In some European and American countries, the market has already undergone

significant transformation: new logistics networks have emerged, the focus has shifted to Asian and Middle Eastern destinations, and regional hubs are being modernized.

Overall, the outlook depends on how quickly market participants can adapt to new realities, as well as on the overall dynamics of global trade and the level of geopolitical stability.

References

- | | | | |
|---|-----------|---------------|-----------|
| 1. ICAO | Strategic | Plan | 2026-2050 |
| https://www.icao.int/ru/about-icao/Council/strategic-plan-2026-2050 | | | |
| 2. Global Air Cargo Demand | Achieved | Record Volume | in 2025 |
| https://www.iata.org/en/pressroom/2026-releases/2026-01-29-01/ | | | |
| 3. World Air Cargo | Forecast | | 2024–2043 |
| https://www.boeing.com/commercial/market/cargo-forecast | | | |

The authors of the XXIX International Scientific and Practical Conference «Digital transformation: current challenges and future plans» were representatives of the following educational institutions:

Baku State University; National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Vinnytsia National Technical University; Florida Institute of Technology; National University of Water and Environmental Engineering; Kharkiv National Automobile and Highway University; Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after the Heroes of Kruty; Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University; International University; European University (Tbilisi); Scientific Laboratory “Center for Collective Use”, S. D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University; Kazakhstan-Russian Medical University; Marat Ospanov West Kazakhstan Medical University; O. O. Bogomolets National Medical University; Cherkasy Medical Academy; Ivan Franko Zhytomyr State University; West Ukrainian National University; National University of Food Technologies; Kyiv State University “Kyiv Aviation Institute” and others.

DIGITAL TRANSFORMATION: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE PLANS

Scientific publications

Proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference
«Digital transformation: current challenges and future plans»,
Prague, Czech Republic. 109 p.
(July 21–24, 2026)

UDC 01.1

ISBN – 979-8-90383-413-6

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.29

Text Copyright © 2026 by the International Science Group (isg-konf.com).

Illustrations © 2026 by the International Science Group.

Cover design: International Science Group (isg-konf.com)©

Cover art: International Science Group (isg-konf.com)©

All rights reserved. Printed in the United States of America.

No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required. Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighboring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

The recommended citation for this publication is: Kocharli N., Hummatova S. Formation of long-lived protein radicals under the effect of Ultraviolet-B radiation. Proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference. Prague, Czech Republic. 2026. Pp. 6-7 URL: <https://isg-konf.com/digital-transformation-current-challenges-and-future-plans/>