eoss-conf.com

ISSUE
№97

EUROPEAN OPEN
SCIENCE SPACE

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

5TH INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
AND PRACTICAL
CONFERENCE

SCIENTIFIC RESEARCH: MODERN INNOVATIONS AND FUTURE PERSPECTIVES

JULY 20-22, 2026, MONTREAL, CANADA

EUROPEAN OPEN SCIENCE SPACE

Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference

"Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives"

July 20-22, 2026

Montreal, Canada

Collection of Scientific Papers

Canada, 2026

UDC 01.1

Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» (July 20-22, 2026, Montreal, Canada). European Open Science Space. 2026.

ISBN 979-8-89704-956-1 (series)
DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026

The conference is included in the Academic Research Index ReserchBib International catalog of scientific conferences.

The conference is registered in the database of scientific and technical events of UkrISTEI to be held on the territory of Ukraine (Certificate №1074 dated 22.12.2025).

The materials of the conference are publicly available under the terms of the CC BY-NC 4.0 International license.

The materials of the collection are presented in the author's edition and printed in the original language. The authors of the published materials bear full responsibility for the authenticity of the given facts, proper names, geographical names, quotations, economic and statistical data, industry terminology, and other information.

ISBN 979-8-89704-956-1 (series)

EUROPEAN OPEN SCIENCE SPACE

© Participants of the conference, 2026
© Collection of scientific papers, 2026
© European Open Science Space, 2026

CONTENT

Section: Agricultural Sciences

Starodubtsev V.M., Yatsenko S.V., Zhukova I.S.
TEMPORARY "SPRING" LAKES IN THE FIELDS OF THE FOREST-STEPPE ZONE, THEIR ECONOMIC AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE…… 12

Section: Architecture and Construction

Орищенко В., Яковенко Р.
ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (UAV) У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ: МОЖЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ……. 18

Sukhanevych M.
3D CONCRETE PRINTING FOR RESIDENTIAL CONSTRUCTION IN THE ATLANTIC PROVINCES OF CANADA…… 29

Section: Art History and Literature

Коровайний Б.
ДОСЛІДЖЕННЯ МИСТЕЦТВОЗНАВЧОЇ ТА ОСВІТНЬОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ РОЗВИТКУ РІЗНОЖАНРОВОЇ ХОРЕОГРАФІЧНОЇ КУЛЬТУРИ В ТВОРЧОСТІ УКРАЇНСЬКИХ МИТЦІВ…… 40

Куценко С.В.
ХОРЕОГРАФІЧНИЙ КОЛЕКТИВ ЯК ПРОСТІР ІНТЕРКУЛЬТУРНОГО ВИХОВАННЯ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ХОРЕОГРАФІЇ…… 43

Sherbon F., Sherbon O.
A DEMONSTRATION OF THE PROFESSIONAL SKILLS OF FIRST- AND FOURTH- YEAR STUDENTS IN THE CREATING A CONCERT PERFORMANCE……... 47

Section: Ecology and environmental protection

Arabova G.
INNOVATIVE APPROACHES TO SUSTAINABLE ECOLOGICAL DEVELOPMENT AND BIORESOURCE RESTORATION……... 51

Balakhanova G.V.
IMPACTS OF SOIL SALINITY AND OTHER EDAPHIC FACTORS ON PLANT PERFORMANCE UNDER ENVIRONMENTAL STRESS… 53

Balakhanova G.V.
EDAPHIC FACTORS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: IMPLICATIONS FOR PLANT–SOIL INTERACTIONS…… 61

Section: Economy

Yasinetska I., Kharchenko O.
DEVELOPING AN ENVIRONMENTAL-ECONOMIC MECHANISM FOR RATIONAL LAND USE IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT…….. 69

Lipinska L.
DYNAMICS OF THE WEDDING FASHION MARKET FROM 2016 TO 2026 IN THE CONTEXT OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND SHIFTS IN CONSUMER BEHAVIOR……... 72

Vasyechko O.
CHALLENGES IN TEACHING INDEX NUMBER THEORY IN UKRAINE: THE CASE OF PRICE STATISTICS……... 78

Ivanenko O.
INTEGRATION OF ESG PRACTICES IN THE INTERNATIONAL ARENA: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF ESG RISKS…….. 82

Ogay M.
ASSESSMENT OF THE SOCIOECONOMIC RESILIENCE OF HOUSEHOLDS WITH CHILDREN IN THE PROCESS OF HUMAN CAPITAL REPRODUCTION……... 86

Section: Finance and Banking

Глухова В.І., Лижова Є.М.
ФІСКАЛЬНА РОЛЬ ПОДАТКУ З ДОХОДІВ ФІЗИЧНИХ ОСІБ В УКРАЇНІ ТА ФЕДЕРАТИВНІЙ РЕСПУБЛІЦІ НІМЕЧЧИНИ…… 91

Section: Geography, Geology and Geodesy

Бачишин Б.Д., Ярмолін Д.В.
ОБЧИСЛЕННЯ ДОПУСТИМОГО ВІДХИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВІД ВЕРТИКАЛІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ…….. 95

Section: History and Cultural Studies

Indiaminova Sh.A.
ELEVATING SOGDIAN HERITAGE TO GLOBAL RECOGNITION: TRANSNATIONAL TRAJECTORIES, DIGITAL INFRASTRUCTURE, AND MECHANISMS FOR HARMONIZING INTERNATIONAL STANDARDS……. 99

Section: Information Technology, Cyber Security and Computer Engineering

Kalashnyk V., Kolysko O.
CYPRESS AS A TOOL FOR AUTOMATED VERIFICATION OF THE CRITICAL USER PATH IN THE SIMPLE BOOKING SYSTEM EDUCATIONAL WEB APPLICATION…….. 104

Почанський О.
ЕВОЛЮЦІЯ ТЕКСТОВИХ МОДЕЛЕЙ: РЕКУРЕНТНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В КОНТЕКСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ…… 109

Vasko A.
ENHANCING SQUEEZENET-BASED METAL DEFECT CLASSIFICATION UNDER DATA SCARCITY VIA DCGAN-DRIVEN SYNTHESIS…….. 128

Нестеренко Є.
ГІБРИДНІ АРХІТЕКТУРИ ТРАНСФОРМЕРІВ ТА ГЛИБИННИХ МЕРЕЖ АНАЛІЗУ ІНТЕРЕСІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ……. 137

Znakhur S., Znakhur L.
IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SCRUM TEAMS MANAGEMENT…… 141

Moskovskykh A., Miroshnychenko I.
AN LLM-BASED DECISION INTEGRATOR WITH STRUCTURED OUTPUT AND A SIX-GATE ANALYTICAL RUBRIC FOR A/B TESTING DECISION SUPPORT……. 151

Боженко В.В., Словінська Ю.А.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ЗАКЛАДОМ ОСВІТИ…….. 156

Section: Jurisprudence

Рибалко А., Ковкіна Є.
ПСИХОЛІНГВІСТИЧНІ ІНДИКАТОРИ ФОРМУВАННЯ ПОЗИТИВНОЇ ОЦІНКИ ДЕРЖАВИ-АГРЕСОРА У ТЕКСТАХ МАСОВОЇ ТА МІЖОСОБИСТІСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ……... 159

Шамара О.В., Михайлов І.М.
ШЛЯХИ ПОСИЛЕННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ОРГАНІВ УКРАЇНИ, В КОНТЕКСТІ ВИКОНАННЯ ПОЛОЖЕНЬ СТРАТЕГІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ……... 163

Миколайчук М., Дуліна О.
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ДОСУДОВОГО ВРЕГУЛЮВАННЯ ПОДАТКОВИХ КРИМІНАЛЬНИХ ПРАВОПОРУШЕНЬ…… 169

Section: Management, Public Administration and Administration

Igimbayeva G., Rakhman R., Maksut A.
ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF MANAGERIAL DECISION-MAKING IN A NONLINEAR BUSINESS ENVIRONMENT: CONTEMPORARY APPROACHES AND INTERNATIONAL EXPERIENCE……... 173

Пустовалова А.
СТРАТЕГІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ…….. 177

Section: Medicine

Salykbayev A.A., Gizatullin R.R.
SUPRASPINAL NEUROPLASTIC RESPONSE AND MARKERS OF SYSTEMIC NEUROINFLAMMATION IN ACUTE COMPLICATED SPINAL INJURY: CLINICAL AND RADIOLOGICAL CORRELATIONS…… 181

Baskarayeva T.S., Mukhtarova A.Ye., Kalibek G.N., Sakhtash N.O.
ASSOCIATION BETWEEN TSH RECEPTOR ANTIBODY LEVELS AND CLINICAL ACTIVITY IN THYROID EYE DISEASE……. 189

Berdigali A.G., Nogoibaeva M.M., Oralbek A.E., Raupova T.U.
BRIDGING THE GAP BETWEEN CLINICAL RECOMMENDATIONS AND ACCESS TO SPECIALIZED CARE FOR ADOLESCENTS WITH MENSTRUAL DISORDERS IN KAZAKHSTAN…….. 195

Shkipor V., Bandrivsky Yu.
PRE-IMPLANTATION ASSESSMENT OF CARIES INTENSITY AND ORAL HYGIENE IN PATIENTS WITH PERIODONTITIS AND SECONDARY EDENTULISM…… 202

Burakhanova Z.N., Aitzhanova G.D., Berdaliyeva L.G., Temirbayeva M.M.
THE POST-DISCHARGE MORTALITY GAP AFTER STROKE IN KAZAKHSTAN: A SECONDARY ANALYSIS OF NATIONAL REGISTRY DATA…… 206

Marat Ye.M., Nabi N.N., Omir G.B., Bauyrzhankyzy A.
THE LATE-DIAGNOSIS GAP BEFORE KIDNEY REPLACEMENT THERAPY IN KAZAKHSTAN: A SECONDARY QUANTITATIVE ANALYSIS OF NATIONAL REGISTRY DATA…… 212

Maden M., Daribaikyzy Z.
ASSESSMENT OF RISK FACTORS FOR DIABETIC RETINOPATHY IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS……. 219

Laushanova M.G.
LATE DETECTION OF DIABETIC RETINOPATHY IN TYPE 2 DIABETES IN KAZAKHSTAN: EVIDENCE GAPS AND SCREENING PRIORITIES…….. 224

Ayana O.M.
NONINVASIVE PREOXYGENATION BEFORE EMERGENCY INTUBATION……... 229

Mukhatayeva A.A., Bayazit Zh.B., Yeleshova A.Zh., Tuleugali A.A.
NATIONAL TRENDS AND REGIONAL INEQUALITY IN MATERNAL MORTALITY IN KAZAKHSTAN:
A SECONDARY ANALYSIS OF OPEN DATA, 2015–2024……. 234

Smatulla N.
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND FORENSIC RADIOLOGY IN MODERN FORENSIC MEDICINE…… 241

Seidakhmet N.B., Laushanova M.G., Ravshanbekova M.I., Alibekkyzy A.
AMBIENT AIR POLLUTION AND DRY EYE DISEASE — CURRENT EVIDENCE, BIOLOGICAL MECHANISMS, AND CLINICAL IMPLICATIONS…… 245

Oral B.O.
THE ROLE OF NT-proBNP AND TROPONIN IN PREDICTING CARDIAC COMPLICATIONS AFTER CARDIAC SURGERY…… 252

Makhmutov A.N.
CONCORDANCE AND GAPS IN THE MANAGEMENT OF BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA-ASSOCIATED MALE LOWER URINARY TRACT SYMPTOMS: A STRUCTURED COMPARISON OF THE KAZAKHSTAN CLINICAL PROTOCOL WITH THE EAU AND AUA 2026…… 257

Mukhtarova A.Ye., Aidynova M.S., Baikhanova Zh.Zh., Sagymbekova A. Zh.
CENTRAL APPETITE SUPPRESSION DURING SEMAGLUTIDE THERAPY AS A DETERMINANT OF DURABLE METABOLIC CONTROL IN TYPE 2 DIABETES AND OBESITY: A MECHANISM-INFORMED RAPID EVIDENCE SYNTHESIS…….. 263

Mukanbet L.
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OBSTETRIC RADIOLOGY IMPROVING PRENATAL DIAGNOSIS…… 270

Turdybekkyzy T., Saibekov A.B., Bissen Ye.Zh.
PREVALENCE AND TREATMENT METHODS OF ALLERGIC RHINITIS IN PREGNANT WOMEN……... 273

Section: Military affairs and national security

Дідіченко В., Череп В., Череп Д.
SMART-МОБІЛІЗАЦІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ КОМПЛЕКТУВАННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ…… 277

Янковський О., Кожухар Л.
ОСОБЛИВОСТІ ТАКТИКИ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПОЛІЦІЇ УКРАЇНИ В РАЙОНАХ ЗАБРУДНЕНИХ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ…….. 281

Section: Pedagogy, Philology and Linguistics

Olimzoda P.
COMPARATIVE ANALYSIS OF ENGLISH AND UZBEK PROVERBS ABOUT WOMEN…….. 285

Jumanov E.Sh.
METHODS FOR DEVELOPING STUDENTS' EMPATHIC SKILLS THROUGH PEDAGOGICAL VALUES…….. 288

Mansurov F.N.
TITLE: MODERN APPROACHES TO THE STRATEGIC MANAGEMENT OF TEACHERS' PROFESSIONAL DEVELOPMENT. 293

Процько Є.
MOTIVATION VS. FRUSTRATION AS KEY EMOTIONAL ASPECTS OF TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE…… 297

Arslonova G.K.
DEVELOPING FUTURE PRESCHOOL TEACHERS' PROFESSIONAL CREATIVITY THROUGH INDIVIDUALIZED AND DIGITAL LEARNING TECHNOLOGIES…… 302

Мунтян О.О.
ЕТИКЕТ КРИЗОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ В СУЧАСНОМУ УКРАЇНСЬКОМУ ДІЛОВОМУ ДИСКУРСІ: ПРАГМАТИЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА МОВЛЕННЄВІ ФОРМУЛИ……. 308

Ляховська Ю.
ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ МОБІЛЬНОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ……. 310

Turubarova A., Smoliak V.
CONCEPTUALIZATION OF DIGITAL INCLUSION……... 313

Əyubova S.Ə.
ALİ MƏKTƏB MÜƏLLİMİNİN KOMMUNİKATİV QABİLİYYƏTİNİ ARTIRAN PEDAQOJİ ÜNSİYYƏT ÜSLUBLARI……. 318

Mammadova M.A.
THE INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN EDUCATION:OPPORTUNITIES AND CHALLENGES…….. 324

Vasylenko I., Palamarchuk O.
TEACHING ENGLISH ONLINE TO AN ADOLESCENT LEARNER WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER: A THREE-YEAR CASE STUDY…….. 327

Musayeva Z.H.
TƏDRİS PROSESİNDƏ MÜASİR TƏLİM TEXNOLOGİYALARININ İMKANLARI……. 334

Качалова К.І.
ДИТЯЧИЙ ХОРОВИЙ КОЛЕКТИВ ЯК БАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПЕРВИННОЇ СОЦІАЛІЗАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ…… 340

Бєлова О.С.
ЛОГОПЕДІЯ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ: ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД РОБОТИ В МІЖНАРОДНІЙ ОНЛАЙН-ШКОЛІ «GOVORIKA»..... 345

Sadigov A.O.
DIGITAL TRANSFORMATION AND THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES INTO TEACHING AND LEARNING IN GERMANY'S SECONDARY EDUCATION SYSTEM…… 352

Section: Philosophy

Panasiuk M.
CARDBOARD UTOPIAS: ON THE AESTHETICS, FUNDING, AND PSYCHIC LIFE OF CURATED DISSENT…….. 375

To'xtayev H.M.
OPPORTUNITIES AND PHILOSOPHICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF AGRARIAN CULTURE IN UZBEKISTAN…….. 384

Борисова Т.
«СМЕРТЬ» ЯК СКЛАДНИЙ САКРАЛЬНИЙ ФЕНОМЕН В ІСТОРИКО-ФІЛОСОФСЬКОМУ ДИСПУТІ…… 390

Xudoyberdiyev D.M.
ECOLOGICAL RESPONSIBILITY AND COMMUNICATION AS FOUNDATIONS OF ENVIRONMENTAL CULTURE…….. 393

Section: Physical Culture and Sports

Shyrai V., Penkovets V.
SUBSTANTIATION OF AN ADAPTIVE ANNUAL TRAINING MACROCYCLE MODEL FOR MILITARY PERSONNEL PREPARING FOR POLYATHLON COMPETITIONS…….. 396

Section: Technical Sciences

Khimko A.
WEAR RESISTANCE OF TI-CFRP/GFRP CONTACT WITH LASER DEPOSITION…… 404

Muradov E.I.
DETECTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED NETWORK ATTACKS: EVALUATION OF A HYBRID MACHINE LEARNING MODEL IN A SIMULATION ENVIRONMENT…… 408

Section: Agricultural Sciences

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.001.12-17

TEMPORARY “SPRING” LAKES IN THE FIELDS OF THE FOREST-STEPPE ZONE, THEIR ECONOMIC AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE

Starodubtsev V.M.
Professor, Doctor of Biological Sciences
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID 0000-0002-7053-2032
Yatsenko S.V.
PhD in Agriculture, Presidium of the NAAS, Head of
Scientific Personnel Department
Zhukova I.S.
PhD in Philosophy, Presidium of the NAAS,
Department of Scientific Support for Innovative Development

The plains in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine have a unique appearance in spring because of pronounced microrelief. Already in March-April, during the melting of snow, they are covered with a network of temporary "spring" lakes, especially in fields with winter wheat. And after 2-4 weeks, these lakes disappear without a trace, the water seeps into the soil and evaporates from the surface. The winter fields turn green, and on the adjacent fields farmers prepare black soil (“chernozemic soils”) for sowing spring crops. As if some ephemeral natural phenomenon had occurred in the fields and disappeared. But did the existence of such "temporary" lakes pass without a trace and did it not affect the properties of chernozemic soils, their fertility, and land productivity?

The assessment of land productivity is generally based on soil fertility, information about which we obtain primarily from soil maps and agrochemical cartograms. This takes into account, of course, the localization of land plots, relief features, and other land management characteristics of the territory. For large areas we have enough soil maps of small and medium scale, and for collective and individual farms – large-scale maps. However, the situation changes dramatically when it comes to farming on a separate field. That is why in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, since 2009 we have begun researching the spatial heterogeneity of soil cover, soil properties, their water regime, and productivity depending on microrelief [1, 2]. Initially, we used traditional methods of detailed mapping of typical chernozem soils (black earths) of the Ukrainian NULES "Velyko-Snitynske" research farm and gradually supplemented them with methods of GPS positioning of soil cuts.

Later, we used unmanned aerial vehicles or UAVs (drones), and later also remote sensing materials of the research fields (Sentinel-2 satellite images).

The studies were initially conducted in the spring on the fields before sowing spring crops (Fig. 1). Micro-depressions there were diagnosed based on soil moisture after snowmelt and the disappearance of "spring" lakes, as well as based on the results of describing the soil profile in sections and wells. One of the important features was also the depth of carbonate occurrence in the soil profile, which reflects the depth of its washing by atmospheric precipitation. On the same field, a separate part of it (Fig. 1, point 1) is highlighted, where many years of experiments of our university were conducted. It shows that the experiments were conducted on soil with heterogeneous properties, primarily in terms of its water regime. And this cast some doubt on the reliability of the results obtained there earlier.

Fig. 1. Micro-depressions in the field at the "Velyko-Snitynske" farm, 2016.04.01, before spring crops sowing: 1 – field of previous long-term agrotechnical research, 2 – micro-depressions with a depth of up to 0.3 - 1 m, 3 – deeper than 1 m [1-3]

Even more impressive results were obtained when mapping a field of winter wheat seedlings with a Phantom-4 drone immediately after the snow melted (Fig. 2, left). The entire field was covered with shallow “spring lakes” in micro-depressions, in which meltwater was temporarily retained on the still frozen soil. And the impact of this lakes on winter wheat in summer is shown below (Fig 2, right).

Fig. 2. Flooding of micro-depressions by meltwater in a field with winter wheat seedlings on 2017-04-04 (left) and its impact on the suppression of wheat plants in summer (2017-06-30) and weediness of the field (right) [3]

Ground observations and the use of drones allowed us to track the duration of flooding of micro-depressions by meltwater and rainwater and changes in the condition of wheat plants in the spring of 2017. It was found that in the depressions of medium depth (up to 50 cm), prevailing in the field, water was stored for a month, gradually evaporating and filtering into the soil. At the same time, the degree of plant suppression was diagnosed quite clearly depending on the duration of flooding (Fig. 3). After being flooded for 4 weeks, the wheat plants died completely.

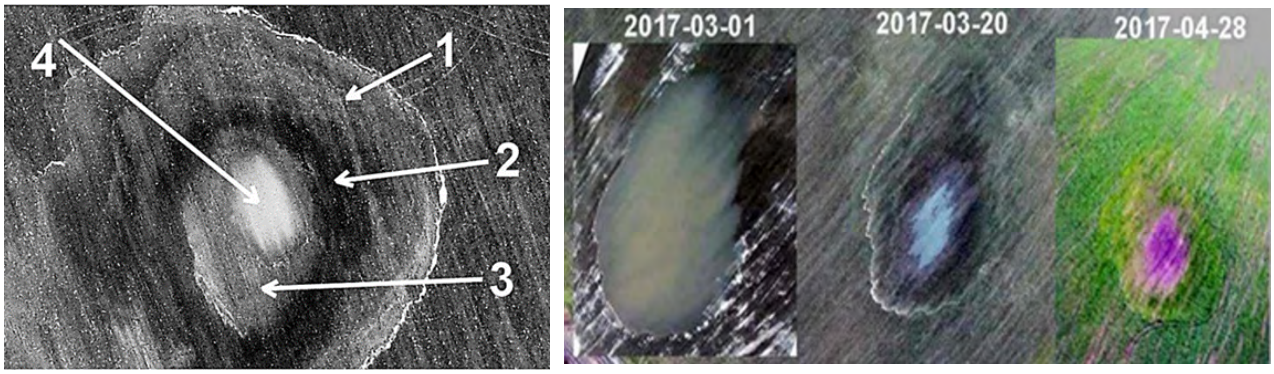


Fig. 3. Condition of winter wheat plants (left) in a micro depression: 1 - weak suppression after 1 week of flooding, 2 - moderate - after 2 weeks, 3 - strong - after 3 weeks, 4 - water at the bottom of the depression. Right - the dynamics of these changes in drone images [3].

A detailed determination of winter wheat yield within such a depression showed a significant decrease in yield depending on the duration of flooding in spring (Fig. 4). Sampling in 8-fold replication across such a depression showed that the yield on flat, non-flooded areas was 47.8–50 c/ha. And in areas with slightly suppressed plants, it was on average 39.5 c/ha, with moderately suppressed plants - 35 c/ha, and with severely suppressed plants due to spring flooding - 16.5 c/ha. At the bottom of the depression, plants died and were replaced by weeds (this area is not shown in Fig. 4). Overall, the yield loss in this 31-hectare experimental field was 38 tons [3, 4]. It is important to note that the bottom of such depressions in the field became a breeding ground for weeds, diseases, and pests.

Our numerous results on wheat and barley crops in several fields of this research farm (Fig. 4) confirmed the importance of assessing the spatial heterogeneity of field productivity. For this purpose, we proposed the equation (1):

$$Ihf = Smd/Sf, \quad (1)$$

where Ihf is the index of field heterogeneity,
Smd – total area of microdepressions on the field,
Sf – total field area.

The results calculated in this way also allow us to determine the real productivity of soils of flat land plots in fields with pronounced microrelief. This requires production data on gross grain harvest and average yield per hectare. In such cases, it is recommended to calculate using the equation (2):

$$Yf = Yp\ (S1 \times K1 + S2 \times K2 + S3 \times K3 + S4 \times K4) / (S1 + S2 + S3 + S4), \quad (2)$$

where: Yf - actual average field yield,
Yp - yield of flat areas,
S1, S2, S3, S4 - areas of flat plots, shallow, medium and deep depressions,
K1, K2, K3, K4 – experimentally determined coefficients of soil yield reduction in depressions of different depths (K1 = 1,00; K2 = 0,84; K3 = 0,71; K4 = 0,33).

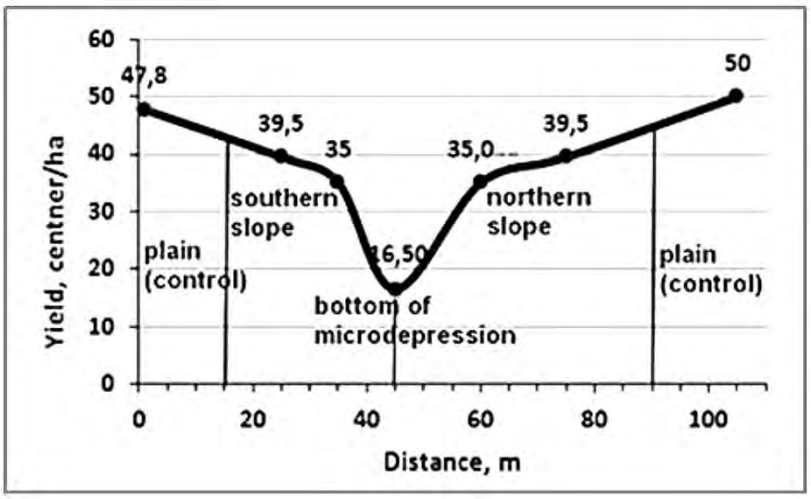


Fig. 4. Winter wheat yield (c/ha) on the cross-sectional profile of a micro-depression 50 cm deep and 100 m long [5, 6].

In 2018, the research was continued using Sentinel-2 satellite images to diagnose micro-depressions, calculate their area, and clarify the optimal observation times. On this 180-hectare field, winter wheat was grown using the bacterial fertilizer "Extracon", which was developed and implemented by Professor M.V. Patyka. The optimal time for effective analysis of micro-depressions is the second week from the beginning of snowmelt (Fig. 5).

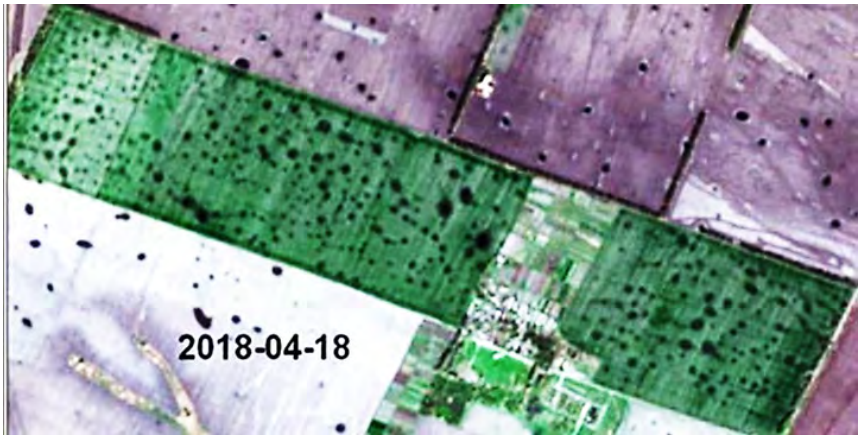


Fig. 5. Sentinel-2 satellite image of flooded micro-depressions in the field with winter wheat on the second week after a snowmelt start [5, 6]

As in the previous year, meltwater was stored in depressions for 1 to 3-4 weeks. Deep depressions occupied an area of 19.2 hectares (10.7%), medium ones – 31.8 hectares (17.7%), and shallow ones – 44.2 hectares (24.6%). With an average yield of 71 c / ha, the calculation according to the equation we proposed allowed us to determine that the real yield on plain areas was 84.1 c / ha, that is 13.1 c / ha more. In shallow micro-depressions of the relief, it was 70.6 c / ha, in medium ones - 59.7 c / ha, and in deep ones - only 27.7 c / ha. Therefore, due to the peculiarities of the soil water regime in micro-depressions, 236 tons of wheat less was harvested on this field less than would have been potentially possible according to the effective fertility of chernozem (black soil).

In 2018-2020, studies were conducted on the impact of soil water regime in fields with micro-depressions on alfalfa yield, which confirmed its soaking during prolonged flooding with meltwater, and severe weeding as well. Occasional experiments were also performed on soybean, sugar beet, corn, and vegetable crops. A number of agrotechnical, agrochemical and environmental problems have also been identified when managing lands with micro-depressions. The authors disseminated preliminary results back in 2019 among the research stations of the Forest-Steppe through the sectoral ministry and published a number of theses and articles. In general, for the farms of Right-Bank Ukraine, this factor is quite significant and should be taken into account when determining the price of land, depending on the quantitative assessment of the existing micro-depressions of the relief on specific fields. It is also important in mapping the lands of this region according to the index of spatial heterogeneity of their productivity. Further research into the necessary technological and environmental issues is certainly needed. This also applies to lands that have fallen into the combat zone, where micro-depressions have arisen during shelling or bombing. The authors are ready to provide farms with the necessary assistance on a contractual basis.

References

1. Starodubtsev V.M., Yatsenko S.V., Pavlyuk S.D. et al. Vplyv vodnoho rezhymu mikrozapadyn Lisostepu na neodnoridnist′ gruntovoho pokryvu ta yoho vykorystannya (The influence of the water regime of micro-depressions of the Forest-Steppe on the

heterogeneity of the soil cover and its use). II All-Ukrainian Congress of Ecologists, Vinnytsia, 2009. - P.176-179.
2. Starodubtsev V.M., Rozstalny V.E., Yatsenko S.V. et al. Vodnyy rezhym mikrozapadyn yak faktor neodnoridnosti gruntovoho pokryvu pravoberezhnoho Lisostepu (Water regime of micro-depressions as a factor of soil cover heterogeneity of the right-bank forest-steppe). Scientific Bulletin of the NUBiP of Ukraine, 149, series "Agronomy", 2010. - P.108-112.
3. Starodubtsev V.M., Vlasenko I.S., Urban B.V. et al. New technical tools and space images - basis for scientific discovery in agroecology. Intern. exhibition “AGRO-2016”, Kyiv, Ukraine, 2016. - 12 p. doi: 10.13140/RG.2.1.5034.9682.
4. Starodubtsev V.M., Vlasenko I.S., Komarchuk D.S. Vplyv prostorovoyi neodnoridnosti vodnoho rezhymu ahrolandshaftiv na yikh produktyvnist′ (The influence of spatial heterogeneity of the water regime of agricultural landscapes on their productivity). Scientific Reports of the NUBiP of Ukraine, #3(67), 2017.
5. Starodubtsev V.M., Basarab R.M. Ecologic and economic estimation of land productivity spatial heterogeneity in forest-steppe zone. Resour Environ Econ, 1(1), 2019. P. 39-42. doi: 10.25082/REE.2019.01.005
6. Starodubtsev V.M., Basarab R.M., Rosamakha Yu.A., Vlasenko I.S. Milestones of the soil cover heterogeneity investigation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Almanahul SWorld, Is.1, 2019, 56-64. doi:10.30888/2410-6615.2019-01-01

Section: Architecture and Construction

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (UAV) У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ: МОЖЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Орищенко Віктор
старший викладач
Кафедра організації та управління будівництвом
https://orcid.org/0000-0002-5081-1229
Яковенко Руслан
здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
Київський національний університет будівництва і архітектури
Україна

Анотація. У статті розглянуто сучасні напрями застосування безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) у сфері будівництва та цивільної інженерії. Проведено аналіз можливостей використання UAV на різних етапах життєвого циклу будівельного проєкту – від попереднього обстеження території до моніторингу виконання будівельних робіт, контролю технічного стану конструкції та експлуатації об’єктів.

Особливу увагу приділено використанню технологій фотограмметрії, лазерного сканування, цифрових моделей місцевості (Digital Terrain Model, DTM), ортофотопланів та інтеграції із технологією Building Information Modeling (BIM). Визначено основні переваги застосування UAV. Цими перевагами є: зниження вартості геодезичних робіт, висока швидкість збору інформації, підвищення точності вимірювань, мінімізація ризиків для робітників та можливість оперативного контролю виконання будівельних процесів. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку безпілотних авіаційних систем у будівництві, машинного навчання (Machine Learning, ML), комп’ютерного зору (Computer Vision) та цифрових двійників (Digital Twin). Окремо розглянуто існуючі технічні, нормативно-правові та економічні обмеження, що впливають на ефективність впровадження UAV у будівельну галузь.

Результати проведеного аналізу свідчать, що використання безпілотних технологій із сучасними цифровими платформами є одним із важливих напрямів цифрової трансформації будівельної галузі. Це сприятиме підвищенню якості, безпеки й ефективності виконання будівельних проєктів.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, UAV, будівництво, цивільна інженерія, фотограмметрія, моніторинг будівництва, геодезія, BIM, цифровий двійник, цифровізація.

1. Вступ

Будівельна галузь протягом останнього десятиліття переживає активний етап цифрової трансформації. Це супроводжується впровадженням іноваційних інформаційних технологій, автоматизованих систем управління та засобів дистанційного моніторингу. Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасного будівництва стало використання безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicles) Вони забезпечують швидке отримання просторових даних високої точності. Також суттєво розширюють можливості контролю будівельних процесів.

Донедавна застосування безпілотних літальних апаратів переважно обмежувалося військовою сферою та аерофотозйомкою. Проте в майбутньому через використання UAV у будівельній сфері ціна виробництва значно зменшиться, а якість значно покращиться. Стрімкий розвиток сенсорних технології, систем глобального позиціонування (GNSS), цифрової фотограмметрії, лазерного сканування (LiDAR) комп'ютерного зору (Computer Vision), зробив UAV доступним інструментом для вирішення широкого спектора інженерних задач у цивільному будівництві.

У сучасній практиці безпілотних авіаційні системи використовуються для виконання геодезичних вишукувань, створення топографічних планів, цифрових моделей рельефу, обчислення об'ємів земляних робіт, моніторингу будівельних майданчиків, контролю відповідності виконаних робіт проєктній документації, інспекції мостів, висотних споруд, транспортної інфраструктури та промислових об'єктів. Застосування UAV дозволяє значно скоротити час використання польових робіт, підвищити точність вимірювань, зменшити вплив людського фактора та мінімізувати ризики під час виконання робіт у небезпечних умовах.

Особливої актуальності використання безпілотних літальних апаратів набуває в умовах масштабної цифровізації будівельної галузі та широкого впровадження конценції Building Information Modeling (BIM), Smart Constructoin, Digital Twin і Construction 4.0. Поєднання даних, отриманих за допомогою UAV, із BIM-моделями забезпечує оперативне оновлення інформації про стан об'єкта будівництва, автоматизований контроль виконання робіт та ефективне управління будівельними проєктами на всіх етапах їх реалізації.

Крім того, сучасні програмні комплекси дозволяють автоматично аналізувати аерофотознімки за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту, що відкриває нові можливості для автоматичного виявлення дефектів конструкцій, оцінювання тахнічного стану споруд, прогнозування ризиків та оптимізації процесів технічного обслуговування будівель.

Але є багато чинників, які стримують широке впровадження UAV у будівельній галузі, а саме:

- необхідність дотримання вимог авіаційного законодавства,
- обмеження щодо польотів у міських умовах,
- залежність від погодних умов,

- висока вартість спеціалізованого обладання
- потреба у кваліфікованому персоналі для обробки отриманих даних.

Метою цієї статті є аналіз сучасних напрямів використання безпілотних літальних апаратів у будівництві, дослідження їхніх функціональних можливотей, оцінювання переваг і недоліків застосування, а також визначення перспектив розвитку UAV-технологій у контексті цифрової трансформації будівельної галузі.

Об'єктом дослідження є процеси застосування безпілотних літальних апаратів у сфері будівництва та цивільної інденерії.

Предметом дослідження виступають сучасні технології збору, обробки та використання просторових даних, отриманих за допомогою UAV, для вирішення інженерних задач у будівництві.

2. Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Стрімкий розвиток цифрових технологій у будівництві сприяв активному впровадженню безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicles, UAV). Це ефективний інструмент збору, обробки та аналізу просторової інформації. Протягом останніх років спостерігається суттєве збільшення кількості накукових досліджень на тему застосуванню UAV у сферах: моніторингу технічного стану споруд, будівництві, гіодезії, управлінні будівельними проєктами та цифровому моделюванні.

Аналіз сучасних публікацій свідчить, що найбільша увага дослідників зосереджена на інтеграції даних аерофотозйомки з інформаційними моделями будівель (Building Information Modeling, BIM). Використання безпілотних літальних апаратів у поєднанні в BIM дозволяє автоматизувати процеси збору геометричних даних, оперативно виявляти відхилення від проєктних рішень, здійснювати контроль виконання будівельних робіт та підтримувати актуальність цифрової моделі об'єкта протягом усього життєвого циклу.

Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування фотограмметричних методів обробки аерофотознімків. Сучасне програмне забезпечення дозволяє на основі серії фотографій автоматично формувати цільні хмари точок, цифрові моделі місцевості, цифрові моделі поверхні тривимірні моделі будівель і високоточні ортофотоплани. Отримані результати використовуються під час виконання інженерного-геодезичних вишукувань, розрахунку обсягів земляних робіт, створення виконавчої документації та контролю геометричних параметрів споруд.

Останніми роками значна кількість наукових робіт присвячена використанню лазерного сканування (LiDAR), встановленого на безпілотних літальних апаратах. На відміну від традиційної фотограмметрії, технологія LiDAR забезпечує отримання високоточної тривимірної інформації незалежно від рівня освітлення та частково дозволяє виконувати вимірювання крізь рослинний покрив. Це суттєво розширює можливості використання UAV під час дослідження складних будівельних майданчиків, транспортної інфраструктури та територій зі значними перепадами висот.

Важливим напрямом сучасних досліджень є автоматизація контролю технічного стану будівель і споруд. Використання камер високої роздільної здатності, тепловізійного обладнання та мультиспектральних сенсорів. Це дозволяє здійснювати дистанційне виявлення тріщин, деформацій, корозійних пошкоджень, дефектів покриттів та інших ознак руйнування конструкцій. Застосування таких технологій особливо актуальне для інспекцій мостів, висотних будівель, промислових підприємств, енергетичних об'єктів і транспортної інфраструктури, де традийційні методи обстеження є складним, дорогим або небезпечним.

Окрему увагу дослідники приділяють інтеграції технологій машиного навчання з безпілотними авіаційними системами. Алгоритми комп'ютерного зору забезпечують автоматичне розпізнавання будівельних елементів, класифікацію дефектів, аналіз ступеня готовності об'єкта та порівняння фактичного стане будівництва з проєктною докуметацією. Використання нейронних мереж дозволяє значно скористати час аналізу великих обсягів графічної інформації та підвищити точність прийняття інженерних рішень.

Перспективним напрямом є застосування UAV у концепції цифрового двійника (Digital Twin), що передбачає створення цифрової копії реального будівального об'єкта з постійним оновленням інформації про його технічний стан. Дані, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів, використовуются для актуалізації геометричних параметрів цифрової моделі, оцінювання ефективності виконання будівельних робіт, прогнозування можливих дефектів та планування технічного обслуговування споруд.

У сучасних дослідженнях також розглядаются економічні аспекти використання UAV. Порівняльний аналіз традиційних геодезичних методів і технологій безпілотної аерозйомки свідчить про істотне скорочення тривалості польвих робіт, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення великомасштабних інфраструктурних проєктів, будівництва автомобільних доріг, залізничних магістралей, аеропортів та промислових комплексів.

Разом із численними перевагами вчені відзначають низку проблем, які стримують широке впровадження безпілотних технологій у будівельній галузі. До них належать обмеження часу польоту через ємність акумулятор батарей, залежнісь ефективності роботи від погодних умов, необхідність отримання дозволів на виконання польотів, складність обробки великих обсягів даних та відсутність уніфікованих методик інтеграції резуальтатів аерозйомки в інформаційні системи управління будівельними проєктами.

Окремою проблемою залишається недостатній рівень стандартизації використання UAV у будівництві. Незважаючи на активний розвиток відповідних технологій, міжнародні та національні нормативні документи поки що не повною мірою регламентують літальних апаратів. Це ускладнює широке впровадження сучасних цифрових рішень у практику будівельних падприємств.

Таким чином, аналіз сучасних наукових досліджень підтверджує, що використання безпілотних літальних апаратів є одним із найбільш перспективних

напрямів розвитку цифрового будівництва. Поєднання технологій аерофотозйомки, лазерного сканування, фотограмметрії, цифрових двійників та інформаційного моделювання будівель створює передумови для підвищення ефективності управління будівельними проєктами, скорочення витрат, підвищення безпеки праці та покращення якості будівельно-монтажних робіт.

Водночас проведений аналіз показує, що більшість сучасних досліджень присвячена окремим аспектам використання UAV, тоді як питання комплексної інтеграції безпілотних технологій із системами BIM, цифровими двійниками та алгоритмами недостатньо опрацьованими. Саме ця обставина зумовлює актуальність подальших досліджень у даному напрямі та визначає необхідність розроблення нових підходів до комплексного використання безпілотних авіаційних систем у сучасному будівництві.

3. Основні напрями застосування безпілотних літальних апаратів у будівництві

Стрімкий розвиток технологій безпілотних літальних апаратів суттєво змінив підходи до їх застосування у будівельній сфері. Якщо раніше дрони використовувалися здебільшого для аерофотознімання територій, то нині вони стали важливим елементом цифровізації будівельних процесів. Сьогодні UAV активно залучаються на всіх стадіях реалізації будівельного проєкту — від проведення інженерних вишукувань і підготовки проєктної документації до контролю будівництва та подальшої експлуатації об'єктів.

Застосування безпілотних літальних апаратів дає змогу оперативно збирати значні обсяги просторових даних, забезпечує високу точність вимірювань, оптимізує часові та фінансові витрати, а також підвищує рівень безпеки працівників під час виконання робіт у важкодоступних або потенційно небезпечних зонах. Основні сфери використання UAV у сучасному будівництві розглянуто нижче.

3.1.Геодезичні роботи та інженерні вишукування

Одним із найпоширенішим напрямів використання безпілотних літальних апаратів є виконання інженерно-геодезичних вишукувань. Традиційні методи топографічної зйомки потребують значних трудових витрат, великої кількості польових вимірювань та значного часу на обробку результатів. Використання UAV дозволяє суттєво скоротити тривалість цих робіт. Це також забезпечує при цьому високу деталізацію отриманих даних.

Під час польоту безпілотних літальний апарат виконує автоматичну фотозйомку території за зазделегідь сформованим маршрутом. На освнові отриманих аерофотознімків спеціалізоване програмне забезпечення формує циифрову модель місцевості, цифрову модель поверхні ортофотоплан та тривимірну модель досліджуваної території.

Особливо ефективним застосуавння UAV є під час:

- підготовики будівельних майданчиків;
- вибору оптимального розташування об’єктів;
- визначення меж земельних ділянок;

- розрахунку обсягів земляних робіт;
- контролю вертикального планування території;
- створення виконавчих типографічних планів.

Завдяки виокій роздільній здатності сучасних камер точність визначення координат окремих точок пісял геодизичної прив'язки може досягати кількох сантиметрів, що відповідає вимогам більшості інженерно-будівельних задач.

3.2.Моніторин виконання будівельних робіт

Ще одним важливим напрямом використання UAV є оперативний контроль будівельного процесу. Регулярне використання аерофотозйомки дозволяє здійснювати постійний моніторин змін на будівельному майданчику без необхідності проведення трудомістких наземних вимірювань.

Періодичне отримання актуальних аерофотознімків забезпечує можливість:

- оцінювання фактичного прогресу будівництва;
- контролю дотримання календарного графіка виконання робіт;
- порівняння фактичного стану будівництва з проєктною документацією;
- своєчасного виявлення відхилень від проєкту;
- документування виконаних етапів будівництва.

Використання UAV особливо ефективне під час реалізації масштабних інфраструктурних проєктів, де площа будівельного майданчика може становити десятки або навіть сотні гектарів. У таких випадках отримання повної інформації традиційними методами потребує значних матеріальних і часових витрат.

Крім того, накопичення матеріалів аерозйомки дозволяє створювати часові моделі розвитку будівництва, що значно спрощує аналіз виконання проєкту та підготовку звітної документації

3.3.Контроль технічного стану будівель і споруд

Одним із перспективних напрямів використання безпілотних літальних апаратів є технічне обстеження будівель і інженерних споруд. Дрони дають можливість швидко перевіряти стан конструкцій та отримувати необхідну інформацію без безпосереднього доступу до важкодоступних ділянок.

Під час традиційного обстеження висотних об'єктів часто використовують будівельні риштування, автовишки або залучають промислових альпіністів. Такі роботи потребують багато часу та значних фінансових витрат. Крім того, вони пов'язані з підвищеним ризиком для працівників, які виконують роботи на висоті.

Використання UAV дозволяє проводити дистанційну інспекцію:

- фасадів будівель
- мостів
- димових труб
- телевеж
- вітрових електростанцій
- сонячних електростанцій
- покрівель

- промислових резервуарів
- елементів транспортної інфраструктури.

Сучасні безпілотні літальні апарати обладнуються камерами з оптичним збільшенням, тепловізорами, мультиспектральними сенсорами та лазерними сканерами, що дозволяє виявляти навіть незначні дефекти конструкцій.

- отримані матеріали використовуються для:
- виявлення тріщин;
- оцінювання деформацій конструкцій;
- визначення корозійних пошкоджень;
- аналізу стану покриттів;
- контролю герметичності покрівель;

Визначення місць теплових втрат будівель.

Таким чином забезпечується своєчасне виявлення потенційно небезпечних дефектів це до їх переходу в аварійний стан.

3.4.Використання фотограмметрії та тривимірного моделювання

Одним із найважливіших напрямів застосування безпілотних літальних апаратів у будівельній галузі є фотограмметрія. Ця технологія ґрунтується на цифровій обробці великої кількості аерофотознімків, виконаних з різних точок і під різними кутами огляду.

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення автоматично ідентифікуються однакові контрольні точки на отриманих зображеннях. На основі результатів їх зіставлення формується високоточна тривимірна просторова модель досліджуваного об'єкта або території, яка може використовуватися для подальшого аналізу, проєктування та контролю виконання будівельних робіт.

Отримані результати можуть використовуватися для створення:

- цифрової моделі місцевості (DTM);
- цифрової моделі поверхні (DSM);
- ортофотопланів;
- хмар точок;
- тривимірних моделей будівель;
- моделей рельєфу;
- цифрових моделей кар’єрів;
- моделей інженерних споруд.

Висока деталізація моделей дозволяє виконувати точні вимірювання без повторного виїзду на будівельний майданчик, що значно скорочує витрати часу під час проєктування та будівництва.

3.5.Розрахунок обсягів земляних робіт

Під час будівництва автомобільних доріг, дамб, кар’єрів, промислових майданчиків та інших масштабних об’єктів важливим завданням є визначення обсягів земляних мас.

Традиційні геодезичні вимірювання потребують значного часу та великої кількості польових робіт.

Безпілотних літальні апарати дозволяють оперативно отримувати цифрову модель поверхні території, після спеціалізовані програмні комплекси автоматично виконують розрахунок:

- обсягів виїмки;
- обсягів насипу;
- балансу земляних мас;
- площ забудови;
- площ складування матеріалів;
- змін рельєфу між окремими етапами будівництва.

Автоматизація таких розрахунків дозволяє значно підвищити точність планування будівельних робіт та оптимізувати використання будівельної техніки.

3.6.Інтеграція безпілотних літальних апаратів із технологіями BIM, Digital Twin

Однією з найважливіших тенденцій розвитку сучасного будівництва є інтеграція безпілотних літальних апаратів із цифровими інформаційними системами. Якщо раніше UAV використовувалися переважно як засіб аерофотозйомки, то сьогодні вони є одними із ключових джерел отримання даних для інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), цифрових двійників (Digital Twin).

Інформаційне моделювання будівель дозволяє створити цифрову модель об’єкта, яка містить геометричні, конструктивні, технологічні та експлуатаційні характеристики. Проте ефективність BIM безпосередньо залежить від актуальності інформації. Дані, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів, забезпечують регулярне оновлення цифрової моделі відповідно до фактичного стану будівництва.

Після завершення аерофотозйомки спеціальне програмне забезпечення автоматично обробляє отримані знімки. У результаті створюється хмара точок, цифрова модель поверхні та тривимірна модель будівельного майданчика. Ці дані можна додати до BIM-моделі. Це дає змогу порівняти проєкт із фактичним станом об'єкта, своєчасно виявити відхилення та контролювати якість виконання будівельних робіт..

Наступним етапом розвитку цифрових технологій є концепція Digital Twin (цифрового двійника). Вона передбачає створення цифрової копії реального будівельного об'єкта, яка постійно оновлюється протягом усього строку його експлуатації. На відміну від звичайної BIM-моделі, цифровий двійник безперервно отримує нові дані з датчиків, систем моніторингу та безпілотних літальних апаратів. Це дозволяє швидко виявляти зміни, прогнозувати появу можливих дефектів і приймати більш обґрунтовані управлінські рішення.

Алгоритми комп'ютерного зору значно скорочують годину обробки даних та мінімізують вплив людського чинника. Автоматизований аналіз аерофотознімків дозволяє оперативно виявляти тріщини, деформації, пошкодження покриттів,

порушення технології виконання робіт та інші дефекти, що позитивно впливає на якість будівництва.

Інтеграція UAV із BIM, Digital Twin та штучним інтелектом створює основу для формування концепції Construction 4.0, яка передбачає цифрове управління всіма етапами реалізації будівельного проекту – від проектування до експлуатації споруди. За оцінками сучасних досліджень, саме поєднання цих технологій є одним із найперспективніших напрямів розвитку галузі найближчими роками.

3.7.Перспективи розвитку безпілотних технологій у будівельній галузі

Світова практика свідчить, що використання безпілотних літальних апаратів у будівництві продовжує активно розширюватися. Зростання продуктивності обчислювальної техніки, розвиток сенсорних систем, удосконалення програмного забезпечення та впровадження штучного інтелекту поступово змінюють роль UAV із допоміжного інструменту на невід'ємний елемент цифрової екосистеми будівельного підприємства.

Однією з перспектив є використання автономних польотів. Завдяки розвитку навігаційних систем нового покоління безпілотні літальні апарати зможуть виконувати моніторинг будівельних майданчиків за заздалегідь визначеним маршрутом практично без участі оператора. Це дозволить здійснювати щоденний контроль за виконанням будівельних робіт та автоматично формувати звітність.

Іншим перспективним напрямком є використання роїв безпілотних літальних апаратів. Одночасна робота кількох дронів дозволить значно скоротити тривалість виконання аерофотозйомки великих територій, забезпечити неперервний моніторинг масштабних інфраструктурних об'єктів та підвищити оперативність збору інформації.

Значний потенціал має інтеграція безпілотних літальних апаратів із цифровими двійниками. Постійне оновлення цифрової моделі за допомогою аерофотознімків забезпечить актуальність інформації про технічний стан споруди протягом усього життєвого циклу. Це сприятиме переходу від періодичних технічних оглядів до системи безперервного моніторингу будівель та інженерних споруд.

Разом із технологічним розвитком очікується удосконалення нормативно-правового регулювання використання безпілотних літальних апаратів. Гармонізація вимог щодо виконання польотів, стандартизація методик аерофотозйомки та інтеграції результатів із цифровими інформаційними системами сприятиму більше широкому використанню UAV у практиці цивільного будівництва.

Таким чином, розвиток безпілотних технологій безпосередньо пов’язаний із загальною цифровою трансформацією будівельної галузі. Поєднання UAV,BIM, Digital Twin та автоматизованих систем управління створює передусови для формування нового покоління будівельних технологій, орієнтованих на підвищення продуктивності, безпеки та ефективності реалізації інженерних проєктів.

4. Висновки

Проведений аналіз сучасних напрямів використання безпілотних літальних апаратів у будові підтверджує, що UAV є одним із ключових інструментів цифрової трансформації будівельної галузі. Завдяки високій мобільності, швидкості збору просторових даних та можливості інтеграції із сучасними інформаційними технологіями безпілотні літальні апарати забезпечують ефективне виконання широкого спектру інженерних завдань на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкту.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що найпоширенішими напрямками використання UAV у будівництві є інженерно-геодезичні вишукування, аерофотозйомка територій, створення цифрових моделей місцевості, фотограмметричне моделювання, моніторинг виконання будівельних робіт, контроль технічного стану будівель та споруд, визначення обсягів земляних робіт та інспекція інженерної інфраструктури. Застосування безпілотних технологій дозволяє значно скоротити тривалість польових робіт, підвищити точність отриманих даних та зменшити вплив людського фактора під час виконання вимірювань.

Особливу увагу в роботі приділено аналізу інтеграції безпілотних літальних апаратів із сучасними цифровими технологіями, зокрема Building Information Modeling (BIM), Digital Twin, Geographic Information Systems (GIS), а також алгоритмами штучного інтелекту та комп’ютерного зору. Проведений аналіз свідчить, що поєднання цих технологій створює передумови для переходу до концепції Comstruction 4.0, у межах якої управління будівельними проєктами здійснюється на основі актуальної цифрової інформації, отриманої в режимі, наближеному до реального часу.

У роботі також встановлено, що використання UAV забезпечує низку суттєвих переваг порівняно з традиційними методами виконання будівельних та геодезичних робіт. До основних переваг належать скорочення часу виконання вимірювань, підвищення рівня безпеки персоналу, зниження експлуатаційних витрат, можливість роботи у важкодоступних місцях, оперативне виявлення дефектів конструкцій та автоматизація обробки великого обсягу геопросторової інформації.

Разом із перевагами існують і фактори, які обмежують широке використання безпілотних літальних апаратів у будівництві. До них належать правила виконання польотів, залежність роботи дронів від погодних умов та обмежений час польоту без підзарядки. Також для обробки отриманих даних потрібне спеціальне програмне забезпечення і фахівці, які вміють із ним працювати. Ще одним важливим завданням є створення єдиних стандартів для поєднання результатів аерофотозйомки з BIM-моделями та іншими цифровими системами.

У майбутньому можливості безпілотних літальних апаратів у будівництві будуть розширюватися. Очікується активніше використання програм, які автоматично знаходять дефекти конструкцій. Також розвиватимуться автономні системи контролю будівельних майданчиків, інтеграція дронів із цифровими двійниками будівель, застосування груп безпілотників для обстеження великих

територій і створення єдиних цифрових платформ для управління будівельними проєктами.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують, що безпілотні літальні апарати вже сьогодні є невід'ємною складового сучасного цифрового будівництва. Їх подальший розвиток та інтеграція із сучасними інформаційними технологіями сприятимусть підвищеною ефективності будівельного виробництва, покращенню якості будівельно-монтажних робіт, оптимізації використання матеріально-технічних ресурсів і забезпеченню більш високого рівня безпеки під час реалізації будівельних проєктів.

Список використаних джерел

1. Rachmawati, T. S. N., & Kim, S. (2022). Unmanned aerial vehicles (UAV) integration with digital technologies toward Construction 4.0: A systematic literature review. Sustainability, 14(9), 5708. https://doi.org/10.3390/su14095708
2. Guan, S., Zhu, Z., & Wang, G. (2022). A review on UAV-based remote sensing technologies for construction and civil applications. Drones, 6(5), 117. https://doi.org/10.3390/drones6050117
3. Molina, A. A., Huang, Y., & Jiang, Y. (2023). A review of unmanned aerial vehicle applications in construction management: 2016–2021. Standards, 3(2), 95–109. https://doi.org/10.3390/standards3020009
4. Faraji, A., Arya, S. H., Ghasemi, E., Rahnamayiezekavat, P., & Perera, S. (2024). Building Information Modeling (BIM), blockchain, and LiDAR applications in construction lifecycle: Bibliometric and network analysis. Buildings, 14(4), 919. https://doi.org/10.3390/buildings14040919
5. Tarrago Garay, N., et al. (2025). Integration of drone-based 3D scanning and BIM for automated construction progress control. Buildings, 15(19), 3487. https://doi.org/10.3390/buildings15193487
6. From BIM to UAVs: A systematic review of digital solutions for productivity challenges in construction. (2025). Applied Sciences, 15(19), 10843.
7. Khalaf, Y. H. (2025). Autonomous BIM-aware UAV path planning for construction inspection. Geomatics, 5(4), 79. https://doi.org/10.3390/geomatics5040079
8. Shults, R., & Annenkov, A. (2023). BIM and UAV photogrammetry for spatial structures sustainability inventory. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-5/W2, 99-104. https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-5-W2-2023/99/2023/
9. Chian, S. C., Yang, J., Wong, S., Yeoh, K.-W., & Sarman, A. T. (2025). Digitalisation and Building Information Modelling integration of basement construction using unmanned aerial vehicle photogrammetry in urban Singapore. Buildings, 15(7), 1023. https://doi.org/10.3390/buildings15071023
10. Zhang, J., Zhao, B., Yang, G., et al. (2025). AI-empowered digital twin modeling for high-precision building defect management integrating UAV and GeoBIM. Building Simulation, 18, 2531–2558 https://doi.org/10.1007/s12273-025-1332-9

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.002.29-39

3D CONCRETE PRINTING FOR RESIDENTIAL CONSTRUCTION IN THE ATLANTIC PROVINCES OF CANADA

Sukhanevych Maryna
DrSc, Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
Postdoctoral Fellow, University of New Brunswick, Fredericton, Canada

Abstract. This paper investigates the potential of three-dimensional concrete printing (3DCP) for addressing the acute housing crisis in the Atlantic Provinces of Canada — Nova Scotia, New Brunswick, Prince Edward Island, and Newfoundland and Labrador. The region's marine subarctic climate is analysed in detail: 40–60 freeze-thaw cycles per year, relative humidity of 78–83%, marine salt and sea fog — conditions fundamentally different from those of Canada's interior provinces. The local raw-material base is systematically characterised: New Brunswick quartz sand ($SiO_2 > 97\%$), Prince Edward Island limestone ($CaCO_3$ 94–98%), Nova Scotia granite fines, and New Brunswick wood-processing waste (≈ 2 Mt/year). Three seasonally adapted mix designs (S, T, W) are proposed together with an experimental "NB-Wood" mix incorporating mineralised sawdust and CSA cement, targeting a 35–45% reduction in wall thermal conductivity at strength class C20/25. Five 3DCP equipment systems are compared, and urban-planning typologies — compact towns, urban infill, and neighbourhood-scale development — are examined within the NBC 2020 "Alternative Solutions" framework. The first verified Canadian 3DCP residential precedent (Nidus3D / Habitat for Humanity, Leamington, Ontario, 2022) is analysed as a transferable model, and a differentiated implementation strategy is proposed for each Atlantic Province.

Keywords: 3D concrete printing; 3DCP; Atlantic Canada; housing crisis; marine climate; freeze-thaw cycles; seasonal mix design; wood waste; NB-Wood mix; CSA cement; frost resistance; TwinLine TL-300; COBOD BOD2; NBC 2020; local raw materials.

Introduction. The Atlantic Provinces of Canada are experiencing an unprecedented housing crisis. According to the Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC), housing prices in Halifax rose by 47% between 2020 and 2024, while in Moncton they surged by 62%, making home ownership unattainable for most of the middle class; the average rent for a one-bedroom apartment in Halifax exceeded CAD 1,800/month in 2024, against a median household income of CAD 68,000/year [1].

At the same time, the construction sector faces structural challenges: a chronic shortage of skilled workers (BuildForce Canada estimates a deficit of 24,000 workers by 2032 across the four provinces), a short cold-weather building season, and costly logistics stemming from the island or peninsula geography of most provinces [2]. In

this context, 3DCP acquires fundamentally new significance — not merely an innovative construction method, but a strategic tool for addressing a social crisis [3].

3DCP offers three advantages that are critically important for the region: a substantial reduction in labour requirements (a crew of 2–4 instead of 12–20 for conventional construction), construction timelines shortened by a factor of 2–4, and the possibility of an extended or year-round building season with proper mix and technology adaptation [4]. The region additionally holds a unique advantage: substantial local mineral deposits that minimise logistics costs and the carbon footprint of building materials [5].

Aim and objectives of the study. The aim of this study is a comprehensive examination of the conditions for 3DCP deployment in the Atlantic Provinces of Canada, from climatic constraints and mix design to equipment selection and the urban-planning principles for entire residential neighbourhoods.

The objectives of the study are: (1) to characterise the marine subarctic climate of the Atlantic Provinces and its impact on 3DCP mix behaviour; (2) to assess the regional mineral and wood-waste raw material base and to develop seasonally adapted mix designs, including an experimental thermally insulating “NB-Wood” mix; (3) to compare available 3DCP equipment systems against region-specific selection criteria; (4) to define urban-planning typologies for 3DCP residential development compatible with NBC 2020; (5) to analyse the first verified Canadian 3DCP residential precedent and to derive a differentiated, province-specific implementation strategy.

Research Results and Discussion. The climate of the Atlantic Provinces is determined by proximity to the Atlantic Ocean, which moderates temperature extremes and provides high humidity, and by the influence of Arctic air masses, which bring prolonged winters with frequent thaws and refreezing. This marine subarctic climate is one of the most challenging for construction owing to oscillating temperatures and excess moisture [6]. Nova Scotia and Prince Edward Island have the mildest regional climate (mean January temperature –5 to –8°C, with 15–20 winter thaw days); New Brunswick is more continental (down to –15°C in the north); Newfoundland and Labrador are the harshest, with winter minima of –20 to –35°C, strong winds and heavy snow loads [6, 7].

Table 1 — Climatic parameters of principal cities in the Atlantic Provinces

City / Province	Mean T Jan., °Cяч	Days T<0°C /yr	Precip., mm/yr	Humidity	Wind, m/s	Season, months
Halifax (NS)	–5.8	109	1,453	78%	4.7	7–8
Moncton (NB)	–9.2	142	1,091	79%	4.0	7
Fredericton (NB)	–10.5	154	1,131	77%	3.7	6–7
Charlottetown (PEI)	–7.1	124	1,201	81%	5.1	7
St. John's (NL)	–4.8	118	1,514	83%	6.3	6–7

* data generated [6]

Specific climatic challenges for 3DCP. The primary challenge is not extreme frost, as in the interior provinces, but frequent freeze-thaw cycling: Halifax experiences 40–60 cycles per winter, Moncton 35–50. For freshly printed layers this produces a repeating sequence — pore-solution crystallisation, ice expansion, mechanical disruption, thaw and re-saturation — so that reaching a threshold strength of ≥ 3.5 MPa before the first freeze is critical [8, 9]. Relative humidity of 78–83% and sea fog (about 120 fog days per year in St. John's) deposit a thin water film on freshly printed layers, raising the local w/c ratio and reducing interlayer bond strength [6, 10]. Strong coastal winds (up to 6.3 m/s in St. John's) and marine salt (NaCl, $MgCl_2$) increase the risk of reinforcement corrosion and chemical degradation of the cement matrix under cyclic wetting [11].

The Atlantic Provinces possess a well-developed mineral raw-material base, classified by Natural Resources Canada as sufficient for internal construction demand at current rates of development [5]. New Brunswick is the richest province for high-quality quartz sand (SiO_2 > 97%, particle size 0.1–2.0 mm; 4.2 Mt produced in 2023); Prince Edward Island has large limestone deposits ($CaCO_3$ 94–98%), used at 2–4% by mass to improve workability through a ball-bearing effect; Nova Scotia granite screenings (0.1–4 mm) can replace up to 30% of quartz sand, and the Lafarge Canada plant in Brookfield, NS, produces Type GU cement (42 MPa/28 days), the primary regional 3DCP binder [12–14].

Table 2 — Local raw material resources of the Atlantic Provinces and their suitability for 3DCP

Resource	Leading province	Vol., Mt/yr	3DCP suitability	Limitations
Quartz sand	New Brunswick	4.2	High	Screening to 2 mm
Limestone / powder	PEI, NB	2.8	High (modifier)	Moisture-sensitive
Granite screenings	Nova Scotia	1.4	Medium	≤30% of total
GU cement (Lafarge)	NS (Brookfield)	0.75	High	Logistics to PEI/NL
Wood-processing waste	New Brunswick	1.5–2.0	High (after treatment)	$Ca(OH)_2$ treatment

* data generated [5]

Using local materials significantly reduces construction costs: New Brunswick quartz sand costs CAD 28–35/t versus CAD 55–70/t for imported Quebec quartz, saving CAD 500–1,000 on aggregate alone for a standard 120 m² house. Partial cement replacement with local limestone (20–30%) reduces the 3DCP mix cost per m² by 12–18% while lowering the carbon footprint [13, 15].

Mixes for 3D printing in the region must satisfy standard 3DCP rheological requirements (extrudability, buildability, thixotropy) while accounting for regional climate specifics: thixotropic recovery rate A_thix = 0.6–1.5 MPa/min, open time 40–65 min, extrudability ≥ 4/5 on the RILEM TC 266-MRP scale, and σc ≥ 35 MPa at 28

days (class C25/30 per NBC 2020); coastal structures additionally require frost resistance F200–F300 per CSA A23.1-19 [16, 17]. Regional climate specifics dictate three separate mix designs for different seasons — summer-autumn (May–October), transitional (April, November) and winter (December–March) — the key distinction from purely cold-weather 3DCP being the need to account for humidity and oscillating temperatures [18].

Table 3 — Optimised 3DCP mix designs for the Atlantic Provinces

Component	Mix S (+10…+25°C)	Mix T (+2…+10°C)	Mix W (–10…+2°C)	Function
GU cement	44%	38%	30%	Primary binder
CAC / CSA cement	—	10%	18%	Acceleration
Metakaolin MK-750	8%	8%	8%	Pozzolan, frost res.
NB quartz sand	36%	32%	28%	Aggregate
Silica fume	4%	5%	6%	Density, F200–F300
Nano-SiO_2	0.5%	1.0%	1.5%	A_thix ↑
w/c ratio	0.36	0.33	0.30	Frost resistance
σc 28 d, MPa	38–42	34–38	28–34	C25/30–C30/37
Frost resistance F	F200	F200–F300	F300	CSA A23.1-19

* data generated by the author

For structures within 1–3 km of the shoreline, exposure class XS2 per CSA A23.1-19 requires w/c ≤ 0.35 and corrosion inhibitors (calcium nitrite, 20–30 L/m³) or basalt-fibre-reinforced polymer bars as an alternative to steel reinforcement [16, 18].

Equipment selection is governed by four region-specific requirements: mobility between dispersed construction sites; frost and moisture resistance of electronic and hydraulic components; compliance with NBC 2020 and provincial codes; and availability of local service support [19].

Table 4 — Comparative characteristics of 3DCP systems for the Atlantic Provinces

Parameter	COBOD BOD2	Crane WASP	TwinLine TL-300	ICON Vulcan	Priority
Print area, m²	500+	50–100+	96	93	BOD2
Cold weather	to –10°C	to –5°C	to –30°C	to –5°C	TL-300
Local service (CA)	Remote	Remote	Yes	No	TL-300
Price, CAD th.	450–900	280–450	320–550	rental	WASP

* data generated by the author

TwinLine TL-300 (CSA-certified, rated to –30°C, with Canadian service) and COBOD BOD2 (largest print area) are the regional priorities. A complete solution further includes a heated twin-shaft paddle mixer (200–400 L), a piston pump (15–25 bar), electrically heated delivery hoses to maintain mix temperature at +15 to +30°C, and a mobile weather station with automatic alerts [19, 20].

The Atlantic Provinces have a distinctive urbanisation profile: over 60% of the population lives in cities of fewer than 50,000 inhabitants, and 26% of Nova Scotia's housing stock predates 1960; Halifax alone requires up to 20,000 new housing units by 2030 [21, 22]. Three project typologies are proposed. Compact rural towns (500–5,000 people) use a standard module — a 1–2-storey house of 80–130 m², 40 cm walls, PIR insulation 100–150 mm (RSI 3.85–4.67 per NBC 2020), with clapboard siding for regional architectural continuity [23, 24]. Urban infill in Halifax, Moncton and St. John's involves groups of 4–8 attached dwellings with a shared courtyard and conventional cast-in-place underground parking beneath 3D-printed above-grade sections [22]. Heritage infill development, the type most specific to the region, occurs within blocks retaining nineteenth- and twentieth-century timber building fabric, where heritage-trust façade approval constrains but does not preclude 3DCP use [25].

Architectural form must address pitched roofs at 35–45° (snow loads 1.5–3.5 kPa), aerodynamic curved wall profiles enabled by 3D printing (reducing wind load), and compact floor plans (minimising heat loss). Life-cycle assessment for a typical 120 m² house shows 3DCP from local materials at 18–25 kg CO_2/m², versus 35–60 kg CO_2/m² for timber-frame construction and 120–180 kg CO_2/m² for reinforced concrete (Fig. 1) [15, 26]. NBC 2020 contains no direct provisions for additive construction; 3DCP is therefore pursued under clause 2.7 “Alternative Solutions,” which permits any alternative approach provided its equivalence to normative requirements is demonstrated [27].

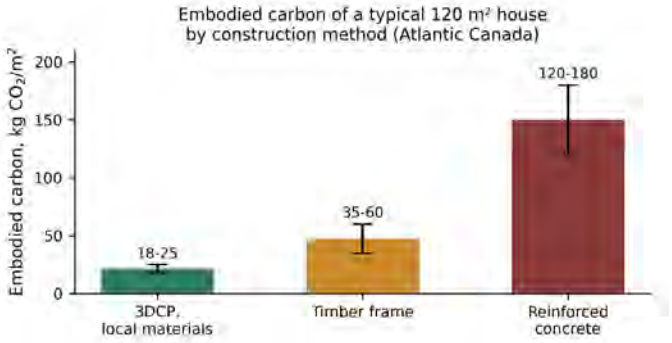


Figure 1. Embodied carbon of a typical 120 m² house by construction method, Atlantic Canada (authors' calculations, based on [5, 26])

As of 2024, no confirmed 3DCP construction projects in the Atlantic Provinces themselves have been documented; the precedents discussed below concern other provinces and are directly relevant to assessing the Atlantic region's potential. Canada's first realised 3D-printed housing project was completed in Leamington, Ontario, in 2022 by Nidus3D (Kingston, ON) in partnership with Habitat for Humanity Windsor-Essex, the University of Windsor, and with CMHC funding support — the first 3D-

printed residential building in Canada to receive an official building permit, and the first 3D-printed multi-unit residential building in North America [28].

The building is a four-unit quadruplex; external load-bearing walls were printed with a COBOD gantry printer, each unit ≈ 52 m² and built to a net-zero-ready standard. Real-time specimen testing by the University of Windsor's Civil and Environmental Engineering department confirmed strength, durability and thermal-insulation performance of the printed sections [29]. In 2023–2024 Nidus3D completed Canada's first two-storey 3DCP house (Wolfe Island) and a three-storey building in Kingston, and in 2024 Lafarge Canada partnered with Nidus3D on the largest 3DCP project in the country — 40 homes for the Siksika Nation, Alberta [30, 31]. Nidus3D's Ontario precedents are directly transferable to the Atlantic region: the technology has been validated under Canadian climate conditions, has obtained building permits under NBC, and the company has expressed interest in Atlantic expansion [30].

A key insight from Canadian 3DCP experience is that continental and marine climate zones require fundamentally different material solutions. Ontario/Alberta mixes prioritise deep, sustained frost protection (to –40°C) with strong antifreeze admixtures (CNNI + calcium nitrate to –15°C freezing point) and w/c 0.28–0.32; Atlantic mixes must address frequent freeze-thaw cycling (40–60/yr), marine salt and sea fog, requiring frost resistance F200–F300, mandatory marine-exposure protection, and w/c 0.30–0.36 [6, 16, 17].

Resource potential and scientific basis**.** Forests cover over 83% of New Brunswick (5.9 million ha), and forestry is one of the province's three principal industries; annual harvest of 18–22 million m³ generates over 1.5–2.0 Mt/year of sawdust, chips and bark at mills in Edmundston, Fredericton, Newcastle and Moncton, much of which is currently landfilled or incinerated [11, 32]. In 3DCP, this waste can serve a dual function — a fibrous filler improving crack resistance and reducing shrinkage, and a thermally insulating aggregate reducing wall thermal conductivity — simultaneously lowering mix cost and diverting industrial waste in line with circular-economy principles.

Wood-cement composite (WCC) research shows that 20–25% wood content by volume can achieve compressive strength above 30 MPa with a 52–54% reduction in thermal conductivity relative to reference concrete, while water absorption and freeze-thaw durability remain acceptable [33]. Cement-sawdust mixes exhibit thermal conductivity $\lambda = 0.15–0.35$ W/(m·K), 3–5 times lower than standard concrete [34]; the University of Maine's BioHome3D project (2022), a fully bio-based 3D-printed house monitored through a Canadian-type winter, is a directly relevant regional precedent [35]. A critical constraint is the chemical incompatibility of wood and cement: organic extractives (tannins, hemicellulose, sugars) migrate into the pore solution, lowering pH and inhibiting C_3S hydration. Black Spruce and Balsam Fir — the dominant NB species — have moderate inhibitor content; proven remedies include mineralisation of sawdust in 5% $Ca(OH)_2$ solution (48 h), use of CSA cement (less sensitive to organic inhibitors via its ettringite-based hydration mechanism), and metakaolin MK-750 (8%) to lower pore-solution pH [36].

Table 5 — Effect of wood waste on 3DCP mix properties

Waste type	Optimum dose, vol.%	λ, W/(m·K)	σc 28d, MPa	Key effect
Fine sawdust 0.1–2 mm	10–20%	0.40–0.65	25–35	–40–50% λ
Wood chips 2–5 mm	15–25%	0.25–0.45	15–28	–50–55% λ
Sawdust + perlite (50/50)	10% (total)	0.25–0.35	22–30	Min. λ + min. mass

* data generated [33, 34]

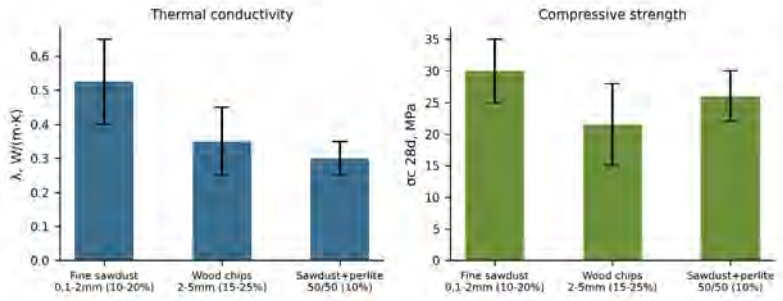


Figure 2. Thermal conductivity and compressive strength as a function of wood-waste type and content (data from Table 5; [33, 34])

Proposed “NB-Wood” mix design**.** Based on the literature review and regional raw-material analysis, an experimental “NB-Wood” mix is proposed, combining local timber waste with the frost-resistance requirements of the Atlantic climate: GU cement 36%, CSA cement 12%, metakaolin MK-750 8%, NB quartz sand 22%, $Ca(OH)_2$-mineralised Black Spruce/Balsam Fir sawdust 12%, perlite 6%, silica fume 5%, nanoclay + nano-SiO_2 1.5%, PCE superplasticiser 1.0%, w/c = 0.34. The mix targets a wall thermal conductivity of 0.40–0.55 W/(m·K) — 35–45% below standard 3DCP concrete (0.90–1.10 W/(m·K)) — at strength class C20/25, and requires laboratory validation on a rheological bench and a small-scale printer before construction-scale application [33, 34].

The principal technological challenges — water absorption by sawdust (raising w/c by 0.03–0.06), batch-to-batch waste variability, and reduced extrudability from elongated particles — are addressed through standard protocols (SSD saturation, screening to 2 mm, Pangel S9 and nano-SiO_2 dosing) and are not considered a fundamental barrier to industrial application. Estimated economic benefit: replacing 12% quartz sand with sawdust (CAD 5–20/t vs CAD 28–35/t) saves CAD 500–1,200 per 120 m² house, or CAD 25–60k across a 50-house programme, while diverting ≈ 2 Mt/year of NB sawmill waste from landfill [11, 15].

There is no single 3DCP solution for the whole region: each province should form its own optimal approach based on its resources, climate, and construction needs.

Table 6 — Differentiated 3DCP implementation strategy for the Atlantic Provinces

Province	Priority season	Mix type	Local raw materials	Special focus
New Brunswick	May–Oct	Mix S + NB-Wood	Miramichi sand + sawdust	Wood waste; circular economy
Nova Scotia	Apr–Oct	Mix S/T + granite	Granite screenings, kaolin	Heritage infill; XS2 coastal
Prince Edward Island	May–Sep	Mix S + limestone	PEI limestone (25% cement)	Small towns; island logistics
Newfoundland & Labrador	Jun–Sep	Mix T/W; F300	Basalt fibres (Gander)	Off-site module prefabrication

* data generated by the author

The first and most critical step is a pilot research project at a university or government programme; the University of New Brunswick (Faculty of Engineering, Fredericton) is well positioned, with an existing construction laboratory and direct access to local materials, to investigate the NB-Wood mix on a rheological bench and small-scale printer [32]. The second step is engagement of Nidus3D, which has declared interest in the Atlantic Provinces and holds proven technology and NBC permit experience [30]. The third step is securing funding through the CMHC Housing Accelerator Fund and provincial housing programmes for a pilot construction of 6–12 affordable units in Fredericton or Moncton using local materials [1]. Transforming New Brunswick from a producer of wood waste into a producer of thermally insulating 3DCP homes exemplifies a “regional synergy” in which technological innovation and a local resource base reinforce each other.

Conclusions

1. The Atlantic Provinces represent one of the most promising regions for large-scale 3DCP deployment: an acute housing crisis, a projected shortage of 24,000 construction workers by 2032, substantial local mineral resources, and government support through the CMHC Housing Accelerator Fund together create a unique systemic window for technological transition [1, 2].

2. The marine subarctic climate presents specific challenges — 40–60 freeze-thaw cycles per year in Halifax, 78–83% humidity, marine salt and sea fog — fundamentally different from continental Ontario or Alberta and requiring distinct material solutions [6, 8].

3. Three seasonal mixes (S/T/W), based on Lafarge GU cement, NB sand, NS granite screenings and PEI limestone, provide strength classes C25/30–C30/37 and frost resistance F200–F300 per CSA A23.1-19 [13, 14, 16].

4. New Brunswick wood-processing waste (≈ 2 Mt/year) is a fundamental regional competitive advantage: the “NB-Wood” mix (12% mineralised Black Spruce sawdust + CSA cement) is expected to achieve wall thermal conductivity of 0.40–0.55 W/(m·K) — 35–45% below standard 3DCP concrete — at strength class C20/25 [33, 34].

5. The Nidus3D / Habitat for Humanity precedent (Leamington, Ontario, 2022) demonstrates the technical and regulatory feasibility of 3DCP under Canadian building legislation; the company has expressed interest in expanding to the Atlantic Provinces [28, 30].

6. A differentiated strategy accounts for each province's specific characteristics — NB: 3DCP + wood waste; NS: heritage infill + XS2 protection; PEI: minimum-carbon local limestone; NL: factory prefabrication — all pursued within the "Alternative Solutions" framework of NBC 2020 [27].

References

1. Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC). Housing Market Outlook: Atlantic Region — Special Report 2024. Ottawa: CMHC, 2024.
2. BuildForce Canada. Construction and Maintenance Looking Forward 2023–2032: Atlantic Provinces. Ottawa: BuildForce Canada, 2023.
3. Bos F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction. Virtual and Physical Prototyping. 2016. Vol. 11(3). P. 209–225. DOI: 10.1080/17452759.2016.1209867
4. Buswell R.A. et al. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 112. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.05.006
5. Natural Resources Canada. Minerals and Mining Statistics: Atlantic Provinces. Ottawa: NRCan, 2023.
6. Environment and Climate Change Canada. Climate Normals 1991–2020: Atlantic Canada. Ottawa: ECCC, 2022.
7. Roussel N. Rheology of fresh concrete. Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42(12). P. 1534–1549. DOI: 10.1016/j.cemconres.2012.09.002
8. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based systems for 3D-printing. Materials and Structures. 2016. Vol. 49(4). P. 1213–1220. DOI: 10.1617/s11527-015-0571-0
9. Sanjayan J.G., Nematollahi B., Xia M., Marchment T. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 172. P. 468–475. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232
10. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
11. New Brunswick Department of Energy and Resource Development. Aggregate Resources of New Brunswick: Annual Report 2023. Fredericton: NBERD, 2024.
12. Nova Scotia Department of Natural Resources and Renewables. Aggregate Resources Inventory. Halifax: NSDNR, 2022.
13. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41(12). P. 1244–1256. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.018
14. Lafarge Canada Inc. Cement Product Technical Specifications: GU and HS Cements, Brookfield Plant. Halifax: Lafarge Canada, 2024.

15. Habert G. et al. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production. Journal of Cleaner Production. 2011. Vol. 19(11). P. 1229–1238. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.03.012
16. CSA A23.1-19 / A23.2-19. Concrete Materials and Methods of Concrete Construction. Mississauga: Canadian Standards Association, 2019.
17. Panda B. et al. Effect of material fresh properties on buildability and interlayer adhesion of 3D printed concrete. Materials. 2019. Vol. 12(13). Art. 2149. DOI: 10.3390/ma12132149
18. Muthukrishnan S., Ramakrishnan S., Sanjayan J. Technologies for improving buildability in 3D concrete printing. Cement and Concrete Composites. 2021. Vol. 122. Art. 104144. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104144
19. COBOD International. BOD2 Technical Manual v.4.2. Copenhagen: COBOD, 2023.
20. Mechtcherine V. et al. 3D-printed steel reinforcement for digital concrete construction. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. P. 125–137. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.202
21. Halifax Regional Municipality. Housing Needs Assessment 2023. Halifax: HRM, 2023.
22. CMHC. Housing Needs Reports: Atlantic Provinces 2023. Ottawa: CMHC, 2023.
23. Weng Y., Li M., Tan M.J., Qian S. Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 163. P. 600–610. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.112
24. National Research Council Canada. National Building Code of Canada 2020 (NBC 2020). Ottawa: NRC, 2020.
25. Heritage Trust of Nova Scotia. Heritage Conservation Guidelines for Residential Buildings. Halifax: HTNS, 2021.
26. CMHC. Housing Construction Cost Report: Atlantic Canada 2024. Ottawa: CMHC, 2024.
27. National Research Council Canada. Alternative Solutions Framework under NBC 2020. Ottawa: NRC, 2021.
28. Habitat for Humanity Windsor-Essex. 3D Construction: Canada's First 3D Printed Multi-Unit Residential Development. Leamington, ON: HfH Windsor-Essex, 2022.
29. CMHC. Canada's First 3D Printed Multi-Unit Homes (Parts 1–3). Ottawa: CMHC Observer, 2024.
30. Canadian Contractor. Creative Eye: Nidus3D — Canada's leading construction printing company. 2023.
31. Canada Construction Connect / JOC. Lafarge Canada collaborates with Nidus3D on largest 3D-printed home — Siksika Nation, Alberta. 2024.
32. University of New Brunswick. Roadmap to Transform the Canadian Construction Industry. Fredericton: UNB OCRC, 2023.
33. Rodrigues F., Carvalho M.T., Evangelista L., de Brito J. Physical, Mechanical, and Durability Properties of Concrete Containing Wood Chips and Sawdust. Buildings. 2022. Vol. 12(8). Art. 1277. DOI: 10.3390/buildings12081277

34. Zou S., Li H., Wang S. et al. Experimental research on an innovative sawdust biomass-based insulation material for buildings. Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 260. Art. 121029. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121029
35. University of Maine ASCC. BioHome3D: First 100% Bio-based 3D Printed Home. Orono, ME: UMaine, 2022.
36. Xie X. et al. Cellulosic fibers from rice straw and sugarcane bagasse: extraction and utilization. Food Hydrocolloids. 2014. Vol. 37. P. 187–197. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.11.008

Section: Art History and Literature

ДОСЛІДЖЕННЯ МИСТЕЦТВОЗНАВЧОЇ ТА ОСВІТНЬОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ РОЗВИТКУ РІЗНОЖАНРОВОЇ ХОРЕОГРАФІЧНОЇ КУЛЬТУРИ В ТВОРЧОСТІ УКРАЇНСЬКИХ МИТЦІВ

Коровайний Богдан
аспірант
Кафедра педагогіки
Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка, Україна

Одним із напрямів дослідження є вивчення сценічно-творчого досвіду танцювальної культури різних регіонів України, адже саме він відіграє важливу роль у збереженні традиційних форм народно-сценічного танцю та створенні нових його варіацій. Особлива увага приділяється творчій діяльності видатних балетмейстерів, які працювали в різних регіонах країни та зробили значний внесок у розвиток хореографічного мистецтва. Їхні роботи стали основою для формування унікального танцювального стилю кожного регіону та забезпечили збереження й подальше вдосконалення народної хореографії.

Наукове осмислення життєвого шляху та творчості провідних майстрів українського народно-сценічного танцю є значущим не лише в аспекті відтворення цілісної панорами розвитку хореографічного мистецтва України та світу, а й як важливої складової теорії хореографічного мистецтва та хореопедагогіки. В останні роки пожвавився інтерес науковців до персонального плану у народно-сценічній хореографії України. З'явилась низка праць, присвячених фахівцям-практикам, серед яких дослідження балетмейстерської та педагогічної діяльності В. Авраменка, П. Вірського, Я. Чуперчука, В. Чуперчук, А. Зібаровської, К. Василенка, А. Кривохижі тощо. Однак, поза увагою дослідників залишаються провідні фахівці народно-сценічного танцю, одне з провідних місць посідає Олег Семенович Голдрич [1].

Розглядаючи дану тему ближче, аналізуючи внесок видатного хореографа, можемо спостерігати, які саме процеси сучасності впливають найбільшою мірою на розвиток танцювального мистецтва України сьогодні. На зламі XX-XXI ст. його потужна хореографічна панорама міжнародних, всеукраїнських, регіональних заходів за участю значної кількості професійних, аматорських танцювальних колективів України активізує дослідження хореографічного мистецтва як одного із пріоритетних напрямів національної культури сьогодення. Актуальність цієї теми знаходиться в річищі мистецтвознавчої та освітньої проблематики розвитку хореографічних умінь, навичок, виконавських традицій в різноманітних хореографічних колективах, їх різножанрової

хореографічної творчості в Україні та за її межами. Аналіз його діяльності актуалізує процес включення у спільний рух творчості заради збереження та розвитку традицій хореографічної культури України [2].

Маємо зауважити, що дослідження хореографічних ідей Олега Голдрича базується на 4 ключових джерелах: його авторських методичних посібниках, репертуарі очолюваних ним колективів (ансамблі «Черемош», «Полонина»), архівних відеозаписах постановок, а також фахових дослідженнях сучасних етнохореологів, що аналізують його педагогічну спадщину. Основу джерельної бази для наукових та практичних розвідок, на нашу думку, складають такі блоки:

1. Авторські праці та навчальні посібники. Праці видатного балетмейстера є головним першоджерелом для вивчення його композиційних та методичних принципів: «Хореографія. Основи хореографічного мистецтва. Основи композиції танцю» (2003 р.)[4]: Фундаментальний підручник, де детально розібрано принципи створення хореографічного номеру, драматургію танцю та специфіку лексики; «Методика роботи з хореографічним колективом» (2007 р.)[9] та «Методика викладання хореографії» (2006 р.) [3]: Ключові матеріали для розуміння педагогічного підходу О. Голдрича; «Музична хрестоматія для уроків народно-сценічного танцю» (2006 р.) (у співавторстві з С. Хитряком)[8]: Допомагає дослідити взаємозв’язок хореографії та музичного супроводу.

2. Практична спадщина та репертуар. Творчий доробок Олега Голдрича нерозривно пов'язаний із практикою: фольклорна спадщина: авторські інтерпретації народних танців західних регіонів України, які зберігаються у діючих репертуарах аматорських колективів; відеодокументація: архівні відеозаписи виступів, майстер-класів та відкритих уроків, які дозволяють проаналізувати манеру виконання та режисерсько-балетмейстерські рішення автора на практиці.

3. Науково-теоретичні дослідження. Для глибинного аналізу ідей О. Голдрича ми використали статті та дисертації сучасних дослідників у галузі хореографічного мистецтва. Так, дослідження творчого шляху хореографа, його внеску в теорію народного танцю та методику викладання регулярно публікуються у фахових наукових збірниках, таких як «Мистецька освіта в контексті глобалізації» та «Актуальні питання гуманітарних наук»[3].

Отже, дослідження хореографічних ідей видатного українського хореографа, педагога та дослідника Олега Голдрича (1938–2008) спирається на розгалужену систему джерел. Завдяки своїй наполегливій роботі та непересічному таланту, О. Голдрич залишив вагомий слід в історії української хореографії, зберігаючи та популяризуючи танцювально-пісенний фольклор різних регіонів України та збагачуючи його новими мистецькими формами. Кожна хореографічна композиція, створена О. Голдричем, демонструє витончену лаконічність та розкриває багатогранність українського танцювального мистецтва. Його хореографічні полотна вирізняються продуманою структурою, в якій кожен рух має чітке значення та логічний зв’язок із загальною темою твору. Видатний хореограф умів майстерно поєднувати простоту з емоційною насиченістю та естетикою, створюючи танці, які

розкривають глибокий зміст і національний колорит. Хореографу вдалося досягти унікальної рівноваги між технічною досконалістю виконання та природністю рухів. Його композиції, попри лаконічну хореографічну мову, передають багатство і різноманіття народних танцювальних традицій. Кожен елемент, жест або крок у постановках видатного балетмейстера має свою виразну функцію, що допомагає глибше розкрити характер, емоційний стан та культурні особливості того чи іншого регіону[4].

Творча спадщина видатного українського хореографа та хореолога Олега Голдрича базується на збиранні, збереженні та розвитку традиційного фольклору. Вона складається з двох магістральних напрямків – практично-постановочного та науково-методичного, що сформували сучасну українську педагогічно-хореографічну школу.

Таким чином, на основі проведеного нами дослідження ми можемо зауважити, що педагогіко-хореографічні ідеї Олега Голдрича базуються на етнізації навчання, системному підході до виховання артиста та чіткій методології побудови сценічного танцю. Його теоретична та практична спадщина, втілена у численних посібниках та програмах, є фундаментальною основою для підготовки сучасних балетмейстерів. Зокрема, автором розкрито адаптовані складні академічні методики для роботи з самодіяльними колективами, підвищуючи їхній художній рівень; наполягання на неподільності роботи балетмейстера і концертмейстера, що відображено у його методичних працях; сформовано чіткий алгоритм виховання танцівника: освоєння знакової системи – вивчення умовних позначень та графічного малюнка танцю для точної фіксації хореографічного тексту; драматургічна підготовка – обов’язкова наявність у номері п'яти класичних частин: експозиції, зав'язки, розвитку дії, кульмінації та розв'язки; очищення першоджерел – сценічна обробка фольклорного матеріалу без втрати його регіональної ідентичності та первинного змісту; робота над малими формами – поетапне навчання від створення дуетів чи тріо до розгортання масштабних хореографічних полотен [5].

Олег Голдрич систематизував знання з композиції танцю та методики роботи з аматорськими й професійними ансамблями; розкрив основи драматургії танцю, художні прийоми та етапи створення хореографічного номеру від задуму до реалізації; детально описав організаційну, навчально-виховну та репетиційну роботу керівника; зроблено глибокий аналіз західноукраїнського танцювального фольклору (зокрема, регіонів Галичини, Гуцульщини та Бойківщини) і принципів його сценічної адаптації.

Зважаючи на вищевикладене, варто зауважити, що наукові та навчально-методичні розробки О. Голдрича інтегрують український хореографічний досвід у світовий культурний контекст, формуючи концептуальні засади вітчизняної хорології – науки про теорію та історію хореографічної культури, яка в працях відомого українського балетмейстера та педагога Олега Голдрича розглядається як фундаментальна мистецтвознавча дисципліна і становить базис теоретичної та практичної зрілості фахівця, як окремий напрямок мистецтвознавства[6].

Опановуючи праці теоретиків та методистів-практиків танцювального мистецтва робимо висновок, що значущість їх практик зводиться до навчально-методичної спрямованості, дослідження у своїх роботах структурних, стилістичних, технічних особливостей танцювального мистецтва, а також обрядів, що висвітлюють побут народу, характер й національні атрибути музичної і танцювальної мови українського народного танцю.

Список використаних джерел

1. Плахотнюк О. А. Хореографічне мистецтво України у роздумах Олега Семеновича Голдрича. Вісник Львівського університету : зб. наук. праць: Серія мистецтвознавство. Вип. № 14. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, С. 52–57.
2. Голдрич О. С.(2004) Тіні забутих танців. Український шлях. № 7 від 19–25 лютого 2004 р.
3. Голдрич О. С.(2006) Методика викладання хореографії. Львів : Сполом, 84 с.
4. Голдрич О. С. (2003) Хореографія : посібник з основ хореографічного мистецтва та композиції танцю. Львів : Край, 160 с
5. Голдрич О. С. (2006) Хореографія : посібник з основ хореографічного мистецтва та композиції танцю. Вид. 2-ге, доп. Львів : Сполом, 172 с.
6. Голдрич О. С.(2008) Муза мого життя. Автобіографічний нарис / упоряд. О. Є. Кузик. Львів : Сполом, 280 с.
7. Голдрич О. С. (2002) Методика роботи з хореографічним колективом. Львів : Каменяр, 2002. 64 с.
8. Голдрич О. С., С.І.Хиряк (2003) Музична хрестоматія. Львів : Край, 232 с.
9. Голдрич О. С. (2007) Методика роботи з хореографічним колективом: Посібник для студентів-хореографів навчальних закладів України І-ІІ рівнів акредитації. Вид. 2-ге, випр. та доп.). Львів : Сполом, 72 с.

ХОРЕОГРАФІЧНИЙ КОЛЕКТИВ ЯК ПРОСТІР ІНТЕРКУЛЬТУРНОГО ВИХОВАННЯ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ХОРЕОГРАФІЇ

Куценко Сергій Володимирович
кандидат педагогічних наук,
в. о. завідувача кафедри образотворчого
мистецтва та хореографії,
Уманський національний університет, Україна

Сучасний етап розвитку українського суспільства характеризується глибокими соціокультурними трансформаціями, які суттєво впливають на зміст, цілі та пріоритети професійної підготовки майбутніх учителів хореографії. За цих умов традиційні підходи до організації освітнього процесу потребують переосмислення й оновлення відповідно до актуальних суспільних запитів,

тенденцій розвитку мистецької освіти та вимог глобалізованого світу. Особливої актуальності набуває пошук ефективних педагогічних механізмів, здатних забезпечити формування конкурентоспроможного фахівця, відкритого до міжкультурного діалогу та професійної взаємодії.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, розширення міжнародних культурних контактів і поглиблення процесів глобалізації зумовлюють необхідність нового осмислення феномену культурної взаємодії, основою якої є принцип єдності в різноманітті, взаємоповаги та збереження національної самобутності. У цьому контексті особливого значення набуває інтеркультурний підхід, що передбачає усвідомлення цінності різних культурних традицій та готовність до конструктивної комунікації в багатокультурному середовищі.

Відтак одним із пріоритетних завдань сучасної хореографічної освіти є формування у майбутніх учителів хореографії інтеркультурного світогляду, здатності до творчої взаємодії з представниками різних культур, толерантності, відкритості до культурного різноманіття та усвідомлення народно-танцювального мистецтва як важливого засобу міжкультурного діалогу і взаємозбагачення культур.

Проблема інтеркультурного виховання знайшла широке відображення у працях вітчизняних науковців. Зокрема, її теоретичні та практичні аспекти досліджувалися в контексті соціалізації особистості в полікультурному суспільстві (О. Бобловський, І. Сидоренко), професійної підготовки майбутніх педагогів (І. Баранцова, О. Бондаренко), організації виховної роботи в закладах загальної середньої освіти (П. Кендзьор, О. Мілютіна), а також у сфері мистецької, зокрема музичної та хореографічної, освіти (М. Колесник, В. Левенець, Г. Ніколаї, Т. Повалій та ін.).

Попри значний науковий доробок, питання інтеркультурного виховання майбутніх учителів хореографії засобами народного хореографічного мистецтва залишається недостатньо розробленим. Особливої уваги потребує дослідження педагогічного потенціалу творчих колективів, зокрема народних аматорських ансамблів народного танцю, як освітнього середовища, що сприяє формуванню інтеркультурної компетентності, розвитку міжкультурного діалогу та вихованню поваги до культурного різноманіття. Саме це зумовлює актуальність порушеної проблеми й визначає доцільність її подальшого наукового осмислення.

Метою дослідження є обґрунтування педагогічного потенціалу хореографічного колективу як простору інтеркультурного виховання майбутніх учителів хореографії.

Сутність інтеркультурного виховання, за визначенням професора Г. Ніколаї, полягає «у стимулюванні особистості до пізнання й розуміння себе, рідної культури, свого коріння, що органічно поєднується з умінням не замикатись у сфері власних цінностей, а прагнути відкрити та зрозуміти іншого в контексті культурних традицій його народу» [1, с. 40]. Наведене трактування підкреслює, що інтеркультурне виховання ґрунтується на гармонійному поєднанні усвідомлення власної культурної ідентичності з відкритістю до сприйняття інших культур. Такий підхід сприяє формуванню світогляду,

заснованого на взаємоповазі, толерантності, культурному діалозі та готовності до конструктивної взаємодії в полікультурному суспільстві.

У контексті професійної підготовки майбутнього вчителя хореографії інтеркультурне виховання набуває особливого значення, оскільки народне танцювальне мистецтво, репрезентуючи національну культурну спадщину, водночас виступає універсальним засобом міжкультурної комунікації. Засвоєння танцювальних традицій власного народу, їх осмислення та презентація у взаємодії з представниками інших культур створюють умови для розвитку інтеркультурної компетентності, виховання поваги до культурного різноманіття та усвідомлення цінності культурного діалогу.

Досліджуючи інтеркультурне виховання як чинник соціалізації особистості в полікультурному суспільстві, І. Сидоренко зазначає, що визнання існування інших культур і повага до їхньої своєрідності не передбачають втрати власної культурної ідентичності. Натомість прагнення зрозуміти представників інших культур означає подолання стереотипів без нівелювання культурних відмінностей. У зв'язку з цим науковець наголошує, що на заклади освіти покладається важлива місія – забезпечити успішну соціалізацію особистості з урахуванням інтеркультурного характеру сучасного соціального простору [3].

Зазначені положення набувають особливої актуальності у процесі професійної підготовки майбутніх учителів хореографії. Адже їхня майбутня діяльність передбачає не лише збереження й популяризацію національних танцювальних традицій, а й організацію мистецької комунікації в умовах культурного різноманіття. Саме тому формування здатності до відкритого міжкультурного діалогу, поваги до культурної самобутності різних народів і водночас усвідомлення цінності власної культурної спадщини має стати одним із пріоритетних напрямів фахової підготовки майбутнього педагога-хореографа.

На нашу думку, інтеркультурне виховання майбутнього вчителя хореографії слід розглядати як цілеспрямований педагогічний процес формування особистості, здатної усвідомлювати цінність власної культурної спадщини, поважати культурне різноманіття світу та здійснювати професійну діяльність у просторі міжкультурного діалогу. Його результатом є сформованість інтеркультурної компетентності, що охоплює систему знань про різні культури, позитивне ставлення до їхніх носіїв, толерантність, готовність до конструктивної взаємодії та здатність репрезентувати українську культурну традицію у світовому мистецькому просторі.

Народно-сценічний танець є важливою складовою світової культурної спадщини, у якій відображено історичний досвід, духовні цінності, традиції, звичаї та естетичні ідеали різних народів. Саме тому він виступає ефективним засобом інтеркультурного виховання, оскільки сприяє не лише збереженню національної культурної ідентичності, а й формуванню відкритості до інших культур, розвитку міжкультурної комунікації та взаєморозуміння.

Опанування танцювальної культури різних народів дає змогу майбутнім учителям хореографії усвідомити спільні гуманістичні цінності, які лежать в основі світової культури, а також зрозуміти своєрідність художніх традицій

кожного етносу. У цьому контексті народний танець постає не лише об'єктом мистецького пізнання, а й ефективним інструментом культурного діалогу, що сприяє подоланню стереотипів, вихованню поваги до культурного різноманіття та розвитку здатності до міжкультурної взаємодії.

Практична реалізація зазначених завдань здійснюється у діяльності хореографічного колективу народного танцю. Освітньо-творче середовище ансамблю забезпечує інтеграцію професійної підготовки, художньої творчості та виховної роботи, створюючи умови для формування інтеркультурної компетентності майбутніх учителів хореографії.

У сучасній педагогічній науці хореографічний колектив розглядається не лише як форма організації творчої діяльності здобувачів освіти, а й як цілісне освітньо-виховне середовище, у якому відбувається професійне, художньо-естетичне та особистісне становлення майбутнього педагога. Особливість ансамблевої діяльності полягає у тому, що вона інтегрує навчальну, виконавську, творчу, комунікативну та виховну складові професійної підготовки, створюючи умови для безпосередньої взаємодії учасників, набуття досвіду колективної творчості та формування системи цінностей, необхідних для майбутньої педагогічної діяльності.

Розділяємо думку Я. Реви в тому, що «хореографічний колектив слугує родючим ґрунтом для культивування творчості та сприяння цілісному розвитку його учасників» [2, с. 162].

На відміну від традиційних аудиторних занять, діяльність хореографічного колективу ґрунтується на постійному міжособистісному спілкуванні, співпраці, взаємній підтримці та спільній відповідальності за кінцевий творчий результат. У процесі роботи над хореографічними постановками студенти не лише вдосконалюють виконавську майстерність, а й набувають досвіду конструктивної комунікації, уміння працювати в команді, узгоджувати власну позицію з інтересами колективу, що є важливою передумовою формування професійної культури майбутнього вчителя хореографії.

Особливого значення ансамблева діяльність набуває в контексті інтеркультурного виховання. Хореографічний колектив створює сприятливе середовище для пізнання культурної спадщини різних народів, осмислення їхніх духовних і мистецьких цінностей, розвитку поваги до культурного різноманіття та готовності до міжкультурного діалогу. Через опанування танцювальної культури різних етносів здобувачі освіти поступово усвідомлюють взаємозв'язок національного й загальнолюдського, відкривають універсальні гуманістичні цінності, що об'єднують різні культури, та водночас поглиблюють розуміння власної культурної ідентичності.

Важливою особливістю хореографічного колективу є його відкритість до культурної комунікації. Концертна діяльність, участь у фестивалях, конкурсах, творчих проєктах, культурно-мистецьких акціях та професійних зустрічах забезпечують студентам реальний досвід представлення української хореографічної культури широкій аудиторії, знайомства з мистецькими традиціями інших народів та професійного спілкування з представниками різних культур. Саме у таких ситуаціях інтеркультурне виховання набуває практичного

змісту, перетворюючись із теоретичного поняття на невід'ємний компонент професійної діяльності майбутнього педагога.

Таким чином, хореографічний колектив виступає не лише творчим об’єднанням студентів, а й ефективним освітньо-виховним простором, у якому поєднуються процеси професійної підготовки, художньо-творчого розвитку, соціалізації та інтеркультурного виховання майбутніх учителів хореографії.

Список використаних джерел

1. Ніколаї Г. Ю. Інтеркультурний вимір наукового музично-педагогічного простору в Польщі та Україні. Часопис мистецької освіти : зб. наук. праць. Харків : ХНПУ імені Сковороди, 2013. С. 35–41.
2. Рева Я. Хореографічний колектив як середовище реалізації творчого потенціалу особистості. Естетика і етика педагогічної дії. 2024. (30). С. 155–164. https://doi.org/10.33989/2226-4051.2024.30.320975
3. Сидоренко І. Г. Інтеркультурне виховання як фактор соціалізації в полікультурному суспільстві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. Вип. 228. С. 111–116.

UDC 792:82-2

A DEMONSTRATION OF THE PROFESSIONAL SKILLS OF FIRST-AND FOURTH-YEAR STUDENTS IN THE CREATING A CONCERT PERFORMANCE

Sherbon Fedir
Senior Lecturer of Acting
Drama Directing Department
I.K. Karpenko – Karyi National University of
Theatre, Cinema and Television, Kyiv, Ukraine
Member of the National Union of
Theatre Artists, Ukraine
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4971-3340
Sherbon Olena
Senior Lecturer,
General and Specialized Piano Department
National Music Academy of Ukraine, Kyiv

ABSTRACT. The article examines the challenge of bringing together first- and fourth-year students—who possess varying levels of professional skill—within a short timeframe to create an engaging, high-quality, and spectacular student variety show: the «Student Initiation».

KEYWORDS. Musical accompaniment, influence on the partner, acting skills, proposed circumstances, inciting event.

Conceptual existence within the realm of a stage spectacle must rest upon the foundation of the production's characterization and artistic concept. It is important to emphasize that while an improvisational element should undoubtedly be present, it must by no means become the dominant force. Centered on these two key aspects of structuring the spectacle's practical realization, we will analyze the development, formation, and execution of the revue-kapusnyk.

The fundamental elements of a production will always remain the same: theme, idea, relevance, character, conflict, and scenographic realization. Only through concentrated immersion in each of these distinct elements can the director lay the groundwork for the project's successful and emotionally impactful realization.

In late September 2025, we staged a celebratory initiation event for first-year students, featuring both first- and fourth-year students from the Karpenko-Karyi Kyiv National University of Theatre, Cinema and Television. This theatrical spectacle combined two occasions: the birthday of Ivan Karpenko-Karyi (after whom the university is named) and the admission of new students to the institution.

While creating the revue-style variety show, we encountered challenges regarding the project's professional execution. The large group involved consisted of first-year students—whose psychophysical apparatus was not yet fully trained—and fourth-year students, who, having undergone three years of daily practical training, were prepared to handle tasks of any level of professional complexity. With the first-year students, we had to create variety acts that involved a deeper immersion into the sequence of events and the visual-imagistic essence of the performance. Lacking professional skills, the students executed directorial tasks by literally mimicking physical movements. They conveyed the emotional dimension of the events based on the psychophysical training they had acquired prior to entering the university.

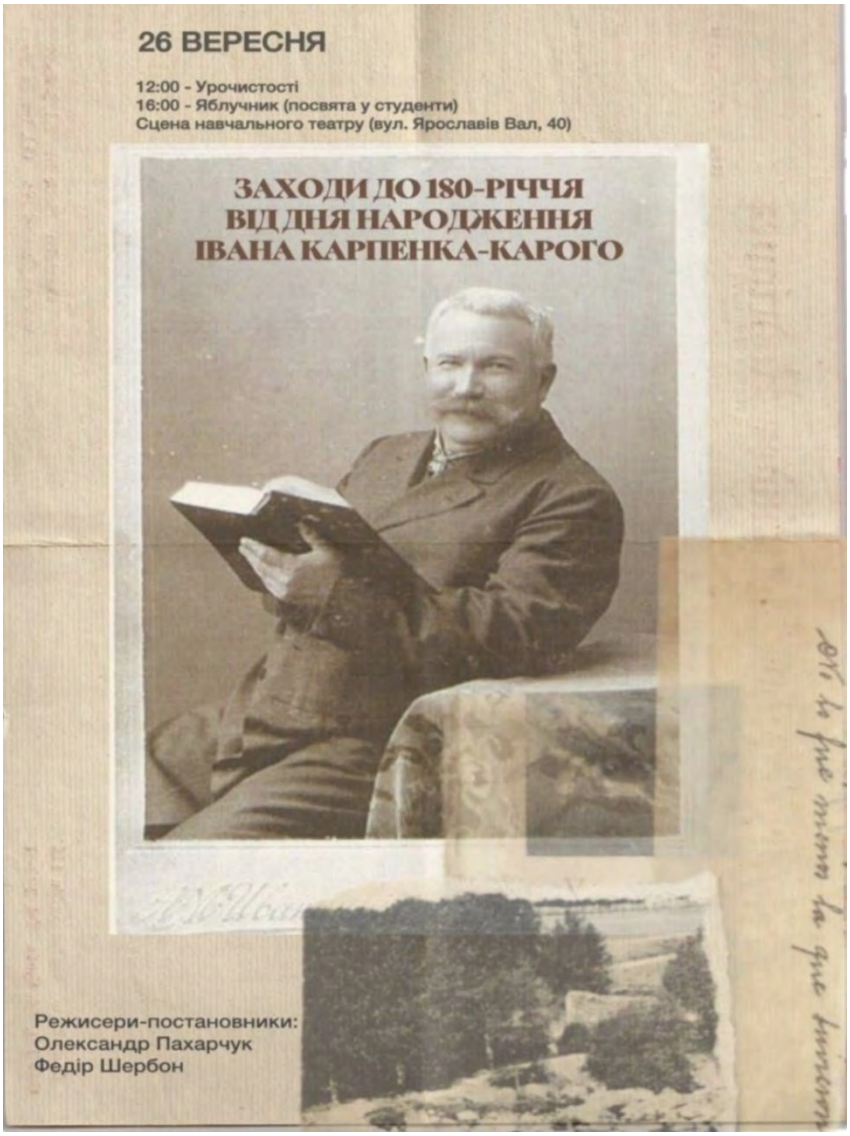
In contrast to the first-year students, the fourth-year students possessed a broader palette of means for stage realization. While the instructor-director treated the improvisational element as a relatively minor aspect with the first-year group, for the fourth-year students, spontaneity, fantasy, invention, and ingenuity became key to achieving the unity, organic quality, and stage truth of the revue-style variety show. [1]

The playful, dance-like «Humoresque» from the «Cello Suite» by Ukrainian composer Vasyl Barvinsky effectively helped the student actors immerse themselves in a cheerful, lighthearted atmosphere on stage. This musical piece facilitated the portrayal of playful, flirtatious, and tender characters. In our concert performances, the «Humoresque» served to add color to and complement the roles.

During the first three weeks of September 2025—an incredibly short timeframe—the department tasked the author of this article with staging this student variety show. The challenge was formidable. The first-year students had only just enrolled at the Karpenko-Karyi Kyiv National University of Theatre, Cinema and Television and were not yet even familiar with basic acting terminology. Consequently, it was necessary to train them quickly and bring their skills closer to the level of the graduating students to ensure a high-quality, spectacular performance. We succeeded in this endeavor [4].

As for the musical accompaniment for this informal performance, since 1998, the co-author of this article—a pianist and teacher—has performed the «Humoresque» and the complete «Cello Suite» alongside students from the National Music Academy of Ukraine at departmental concerts and examinations. At that time, this brilliant music was still little known in Ukraine (with the exception of the country's western regions). For thirty years, we have been actively promoting the works of Vasyl Barvinsky—an outstanding Ukrainian composer who had been undeservedly forgotten. [2]

Below, in the list of sources, we provide links to watch the «Student Initiation» skit performance and to listen to Barvinsky's «Suite» [3, 5].



Reference

1. Desiatnuk. G., Lumar L. Pidgotovka do ekranoi robotu. Kyiv,2020,108 P. [In Ukrainian]
2. Solonetska O. V.Barvinsky – vudatnui ykrainskui vukonavets ta pedagog pershoi polovunu 20 stolittia. Zbirka NMAY.2001. P.7-15[in Ukrainian]
3. Barvinsky « Suita». 2019 https://youtu.be/rqdAxmnJAZs?si=ti7njC1tHi5ZffTd
4. Director Sherbon Fedir. The Article about performance. 2025. https://knutkt.edu.ua/knutkit-imeni-i-k-karpenka-karoho-vidznachyv-180-richchia-ivana-karpenka-karoho/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAc3J0YwZhcHBfaWQPMjc1MjU0NjkyNTk4Mjc5AAEej199xrH44lCLDNeQFFHE3RViR6CzsCgRwAKAwU78rtToi18cS3wuJxAfdrs_aem_MHjQPO9qd6a0bNGdpq92rg
5. Director Sherbon Fedir.Posviata v studentu. 2025. https://youtu.be/DkeY12O7_zQ?si=g5RCXrGiW6O1hreo

Section: Ecology and environmental protection

INNOVATIVE APPROACHES TO SUSTAINABLE ECOLOGICAL DEVELOPMENT AND BIORESOURCE RESTORATION

Gultakin Arabova
PhD in Biology, lecturer
Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan

In the modern era, global climate change, industrialization, urbanization, the excessive exploitation of natural resources, and anthropogenic impacts have led to the disruption of ecological balance. These processes are accompanied by a decline in biodiversity, soil degradation, pollution of water resources, weakening of forest cover, and a reduction in ecosystem services. The concept of sustainable ecological development envisages the conservation, restoration, and efficient use of natural resources for future generations. Contemporary approaches demonstrate that sustainable development can be achieved not only through economic growth but also by ensuring ecological security and social welfare.

One of the most serious challenges facing countries around the world in the twenty-first century is the disruption of ecological balance. Global warming, climate change, air pollution, deforestation, soil erosion, and the depletion of water resources have significant impacts on both natural ecosystems and human life. These problems are closely associated with agriculture, industry, energy production, and urbanization. In the United Nations Sustainable Development Goals, ecological sustainability has been identified as one of the key priorities. In particular, the goals related to “Climate Action,” “Clean Water and Sanitation,” “Life on Land,” and “Responsible Consumption and Production” are directly linked to the conservation of bioresources.

The depletion of water resources is one of the major global environmental threats of the modern era. Drip irrigation systems, rainwater harvesting, water reuse, and digital monitoring systems play an important role in the conservation of water resources. In particular, the Israeli experience is considered a successful model in this field. Recycled water from industrial enterprises is reused in cooling systems, purification equipment, and energy facilities after undergoing treatment. Israel is among the world leaders in this area, with nearly 80% of its wastewater being reused. At the same time, drip irrigation technology used in agriculture not only reduces water consumption but also prevents soil salinization and increases agricultural productivity.

Soil degradation is one of the most widespread environmental problems. Organic fertilizers, composting, biochar, phytoremediation, and conservation agriculture systems play an important role in soil rehabilitation. One of the technologies used to combat soil erosion is the cultivation of cover crops. The use of cover crops helps maintain nitrogen stability in the soil, reduces water evaporation, and increases soil

carbon content. Farmers in the United States and Canada commonly use rye, clover, and buckwheat during the autumn and spring seasons. In Azerbaijan, particularly in the Shamakhi and Agsu regions, some farmers sow cover crops in autumn after the summer season to allow the soil to recover and rest.

Another regenerative agricultural practice is no-till farming technology. This method is used on more than 30 million hectares of land in Brazil. No-till farming preserves soil structure, prevents carbon loss, and maintains the stability of microbial activity. In Azerbaijan, particularly in the Tovuz and Aghjabadi districts, some farms have begun to implement no-till technology experimentally, especially in wheat cultivation. These practices improve the physical and chemical properties of the soil and contribute to the restoration of ecological balance. Green technologies are also essential tools for reducing carbon emissions and promoting the development of sustainable agriculture.

Dependence on fossil fuels accelerates air pollution and climate change. Therefore, the use of alternative energy sources such as solar energy, wind energy, hydropower, and bioenergy is one of the main directions of ecological sustainability. Azerbaijan possesses significant potential for solar and wind energy development. In particular, the expansion of alternative energy projects in the Karabakh and Absheron regions can make an important contribution to ensuring environmental security.

Biodiversity is one of the key indicators of ecosystem stability and sustainability. The decline of rare plant and animal species, deforestation, and habitat destruction increase environmental risks. The expansion of national parks, the establishment of protected areas, forest restoration, and environmental awareness initiatives play an important role in biodiversity conservation. Environmental policy and legislation are among the main mechanisms for managing these processes.

Strengthening these directions within Azerbaijan’s environmental policy is of particular importance for ensuring sustainable development. Future research should focus more extensively on the application of innovative technologies and the solution of regional environmental problems.

References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). The state of the world’s land and water resources for food and agriculture: Systems at breaking point. FAO. https://doi.org/10.4060/cb7654en
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
3. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). Water reuse in agriculture: Sustainable approaches and global practices. OECD Publishing.
4. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., … Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. Nature, 461(7263), 472–475. https://doi.org/10.1038/461472a

5. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda
6. Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. Journal of Soil and Water Conservation, 75(5), 123A–124A. https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620A
7. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. International Journal of Agricultural Sustainability, 7(4), 292–320. https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477

IMPACTS OF SOIL SALINITY AND OTHER EDAPHIC FACTORS ON PLANT PERFORMANCE UNDER ENVIRONMENTAL STRESS

Balakhanova Gumru Vasif
PhD
https://orcid.org/0000-0002-1709-1442
Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Soil salinity and other edaphic factors represent critical environmental determinants that regulate plant growth, productivity, distribution, and ecosystem stability under changing environmental conditions. This study evaluates the impacts of soil salinity, soil physicochemical properties, and related environmental stress factors on plant performance. Salinity affects plants through multiple mechanisms, including osmotic stress, ion toxicity, nutrient imbalance, and oxidative damage, leading to reductions in water uptake, photosynthetic efficiency, biomass accumulation, and reproductive capacity. The influence of additional edaphic factors, such as soil pH, moisture availability, organic matter content, soil texture, and nutrient status, was also assessed due to their significant role in modifying plant responses to stress conditions.

The results indicate that plant tolerance to saline environments depends on species-specific adaptation strategies, including regulation of ion transport, accumulation of osmoprotective compounds, enhancement of antioxidant defense systems, and morphological adjustments in root and shoot development. Soil properties with favorable physical and chemical characteristics, particularly higher organic matter content and balanced nutrient availability, contribute to improved plant resistance against environmental stress. In contrast, degraded saline soils reduce vegetation productivity and negatively influence ecosystem functioning.

The increasing expansion of soil salinization caused by climate change, inappropriate irrigation practices, and anthropogenic disturbances represents a major challenge for sustainable agriculture and biodiversity conservation. Understanding the complex interactions between salinity and other edaphic factors is essential for predicting plant responses, managing degraded ecosystems, and developing effective

strategies for improving plant resilience under environmental stress conditions. Integrated soil assessment and ecological monitoring approaches provide valuable tools for maintaining ecosystem stability and promoting sustainable land-use practices.

Keywords: soil salinity, edaphic factors, plant performance, environmental stress, soil pH, nutrient availability, drought stress, plant adaptation, ecosystem resilience, soil degradation.

Introduction

Soil represents one of the most important components of terrestrial ecosystems, functioning as a dynamic medium that regulates plant growth, nutrient cycling, microbial activity, and ecosystem productivity. The physical, chemical, and biological characteristics of soils, collectively known as edaphic factors, strongly influence plant distribution, physiological performance, and adaptation capacity under changing environmental conditions. Among these factors, soil salinity has emerged as one of the most significant ecological constraints affecting vegetation productivity, particularly in arid and semi-arid regions where limited precipitation, high evaporation rates, improper irrigation practices, and climate change intensify salt accumulation in soils. Increasing soil salinization is considered a major global environmental challenge because it reduces agricultural productivity, alters natural vegetation patterns, decreases biodiversity, and threatens ecosystem stability[1].

Soil salinity primarily results from the accumulation of soluble salts, including sodium chloride (NaCl), calcium salts, magnesium salts, and sulfates, within the soil profile. Elevated salt concentrations negatively affect plants through multiple mechanisms, including osmotic stress, ion toxicity, nutrient imbalance, and disruption of cellular metabolism. High levels of sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) ions interfere with essential physiological processes such as photosynthesis, water uptake, enzyme activity, and membrane stability. As a consequence, plants exposed to saline conditions often exhibit reduced seed germination, limited root development, decreased biomass production, chlorophyll degradation, and impaired reproductive performance. The severity of these effects depends on plant species characteristics, salt concentration, duration of exposure, and interactions with other environmental factors[2].

In addition to salinity, several other edaphic factors play crucial roles in determining plant responses to environmental stress. Soil pH regulates nutrient availability, microbial processes, and root nutrient absorption, while soil moisture influences water availability, transpiration rates, and plant hydraulic functioning. Soil texture and structure affect aeration, water retention capacity, and root penetration, whereas organic matter content contributes to soil fertility, carbon storage, and microbial diversity. Nutrient availability, particularly nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients, directly influences plant metabolic activity and growth potential. Changes in these soil properties can either enhance or reduce plant resistance to environmental stresses, demonstrating the complex interaction between multiple edaphic variables.

Environmental stress factors such as drought, extreme temperatures, pollution, and climate change frequently interact with soil-related limitations, creating complex

stress conditions for plants. For example, saline soils combined with drought conditions can significantly intensify water deficit because high salt concentrations reduce the ability of roots to absorb available water. Similarly, soil contamination by heavy metals, hydrocarbons, and other pollutants may modify soil chemical properties and negatively affect plant–microbe interactions. Therefore, understanding the combined effects of salinity and other edaphic factors is essential for predicting vegetation responses under future climate scenarios and developing effective ecosystem management strategies[3].

Plants have evolved diverse morphological, physiological, biochemical, and molecular mechanisms to tolerate saline and nutrient-limited environments. Adaptive responses include increased root system development, regulation of ion transport, accumulation of compatible osmolytes such as proline and soluble sugars, activation of antioxidant defense systems, and association with beneficial microorganisms. Halophyte species, which naturally occur in saline habitats, demonstrate specialized adaptations that allow them to maintain cellular homeostasis under high salt concentrations. Studying these adaptive mechanisms provides valuable insights into improving crop resilience and conserving vegetation in degraded ecosystems.

Recent global assessments indicate that soil salinization is expanding due to anthropogenic activities, including intensive agriculture, excessive irrigation, deforestation, and poor land management. Climate change further accelerates this process through rising temperatures, altered precipitation patterns, and increased evapotranspiration. According to contemporary ecological research, millions of hectares of productive land worldwide are affected by salinity, resulting in reduced agricultural yields and significant economic losses. Consequently, monitoring soil properties and evaluating plant responses to edaphic stress have become important priorities in modern ecology, environmental science, and sustainable land management[4].

The study of soil salinity and related edaphic factors provides a comprehensive understanding of plant–soil interactions under environmental stress conditions. Investigating these relationships contributes to identifying stress-resistant plant species, improving agricultural sustainability, restoring degraded ecosystems, and maintaining ecosystem functions. Therefore, an integrated evaluation of soil salinity, nutrient dynamics, moisture availability, and other soil characteristics is essential for assessing plant performance and predicting vegetation responses in rapidly changing environmental conditions. This interdisciplinary approach highlights the importance of edaphic factors as key determinants of plant adaptation, productivity, and ecological resilience in both natural and managed ecosystems.

Materials and Methods

The study was conducted to evaluate the influence of soil salinity and other edaphic factors on plant performance under environmental stress conditions. The research design included the analysis of soils and vegetation communities exposed to different levels of environmental pressure, including saline soils, drought-prone areas, and habitats affected by anthropogenic disturbances. Sampling sites were selected

based on variations in soil properties, climatic conditions, vegetation composition, and intensity of environmental stress. The investigated areas represented different ecological conditions, allowing assessment of plant responses across a gradient of soil salinity and edaphic variability.

Soil samples were collected from the upper soil layer (0–20 cm depth), which represents the most biologically active zone influencing root development and nutrient uptake. At each sampling site, multiple subsamples were collected randomly and combined to obtain representative composite samples. The samples were transported to the laboratory under controlled conditions, air-dried, sieved, and prepared for physicochemical analyses.

Soil salinity was evaluated by measuring electrical conductivity (EC) of soil extracts, which is widely used as an indicator of soluble salt concentration. The concentration of major ions, including sodium (Na^+), chloride (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), and magnesium (Mg^{2+}), was determined using standard analytical methods. Soil pH was measured using a pH meter in soil-water suspension to assess soil acidity and alkalinity conditions. These parameters were used to characterize the degree of salinity stress and its potential effects on plant growth.

Additional edaphic characteristics were analyzed, including soil texture, moisture content, organic matter, and nutrient availability. Soil texture was determined based on particle size distribution, while soil moisture was measured by gravimetric methods. Organic matter content was estimated through standard oxidation procedures. Available nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations were analyzed to evaluate soil fertility status and nutrient limitations affecting vegetation development.

Plant species occurring within the selected habitats were investigated to determine their responses to different soil conditions. Vegetation sampling was conducted using standard ecological approaches, including quadrat methods and species abundance assessment. Plant morphological characteristics, including plant height, leaf number, root length, and aboveground biomass, were recorded as indicators of growth performance.

To evaluate the physiological responses of plants to soil salinity and environmental stress, several parameters were measured. Chlorophyll content was determined using spectrophotometric analysis as an indicator of photosynthetic capacity. Relative water content (RWC) was calculated to assess plant water status under saline and drought conditions. Biomass accumulation and root-to-shoot ratio were analyzed to evaluate resource allocation strategies and adaptive responses.

Plant biochemical responses to salinity and edaphic stress were assessed by measuring key stress-related indicators. The concentration of osmoprotective compounds, including proline and soluble carbohydrates, was determined to evaluate plant mechanisms for maintaining cellular water balance. Antioxidant activity was analyzed through measurements of enzymatic defense systems, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD), which protect plant cells from oxidative damage caused by environmental stress.

Ion accumulation patterns were evaluated by determining sodium (Na^+) and potassium (K^+) concentrations in plant tissues. The Na^+/K^+ ratio was calculated as an

indicator of salt tolerance, because maintaining potassium homeostasis is essential for normal metabolic activity under saline conditions.

All obtained data were statistically analyzed to determine relationships between soil properties and plant performance. Descriptive statistics were calculated for all measured variables, including mean values, standard deviation, and variation coefficients. Differences among soil salinity levels and vegetation responses were evaluated using analysis of variance (ANOVA). Correlation analysis was applied to identify relationships between soil parameters (electrical conductivity, pH, moisture, nutrient content) and plant growth indicators.

Multivariate statistical approaches, including principal component analysis (PCA) and cluster analysis, were used to determine the contribution of different edaphic factors to plant performance and stress adaptation patterns. Statistical analyses were performed using modern statistical software packages such as R and PAST. Graphical visualization of relationships between environmental variables and biological responses was prepared using statistical visualization tools.

To ensure accuracy and reliability, all laboratory analyses were performed with standardized protocols and repeated measurements. Calibration of analytical instruments was conducted before measurements, and quality control procedures were applied during soil and plant analyses. The combination of field observations, laboratory experiments, and statistical evaluation provided an integrated assessment of how soil salinity and associated edaphic factors influence plant performance under environmental stress conditions.

Results and Discussion

The results demonstrated that soil salinity was one of the major edaphic factors limiting plant growth and ecological performance under environmental stress conditions. Increasing levels of soil electrical conductivity (EC) were associated with significant reductions in plant height, biomass accumulation, leaf development, and root growth. Plants growing in highly saline soils showed visible stress symptoms, including reduced leaf expansion, chlorosis, premature leaf senescence, and decreased reproductive capacity. These responses indicate that excessive salt accumulation disrupts normal physiological processes and reduces plant productivity.

The negative effect of salinity on plant growth was mainly related to osmotic stress and ionic toxicity. High concentrations of soluble salts reduced soil water potential, limiting the ability of plant roots to absorb sufficient water even when soil moisture was available. This phenomenon, known as physiological drought, caused reductions in cell expansion, stomatal conductance, and photosynthetic activity. In addition, accumulation of sodium and chloride ions in plant tissues disturbed cellular ion balance and negatively affected metabolic processes.

The severity of growth inhibition varied among plant species, indicating differences in salt tolerance mechanisms. Salt-tolerant species maintained higher biomass production and physiological activity under saline conditions, whereas salt-sensitive species showed stronger reductions in growth parameters. These findings

confirm that species-specific adaptations play an important role in determining vegetation distribution in saline environments[5].

The analysis revealed that plant performance was strongly influenced by the interaction between salinity and other soil properties, including pH, moisture content, nutrient availability, and organic matter. Soil pH significantly affected nutrient accessibility and microbial activity, with extreme acidic or alkaline conditions reducing the availability of essential nutrients required for plant development. In saline soils with high pH values, deficiencies of phosphorus, iron, zinc, and other micronutrients were observed, contributing to reduced plant growth.

Soil moisture showed a strong interaction with salinity stress. Under conditions of limited water availability, the negative effects of salt accumulation became more pronounced because plants experienced combined osmotic and drought stress. Vegetation growing in soils with higher organic matter content demonstrated improved resistance to stress due to enhanced soil structure, greater water retention capacity, and increased microbial activity. Organic-rich soils provided more favorable conditions for root development and nutrient acquisition compared with degraded soils characterized by low fertility[6].

Nutrient analysis indicated that nitrogen, phosphorus, and potassium availability played a critical role in regulating plant responses to saline environments. Adequate nutrient supply partially compensated for the negative effects of salinity by supporting photosynthesis, enzyme activity, and biomass formation. However, excessive sodium accumulation often interfered with potassium uptake, resulting in an increased Na^+/K^+ ratio and impaired metabolic functioning.

Plants exposed to saline conditions demonstrated several adaptive physiological and biochemical responses. A reduction in chlorophyll content was observed in plants subjected to high salinity, indicating damage to photosynthetic structures and decreased carbon assimilation efficiency. However, tolerant species maintained relatively higher chlorophyll levels, suggesting stronger protection mechanisms against salt-induced stress.

One of the most important adaptive responses was the accumulation of osmoprotective compounds such as proline and soluble sugars. Increased proline concentration helped plants maintain cellular osmotic balance, stabilize proteins and membranes, and protect cells from dehydration. Similarly, soluble carbohydrates contributed to osmotic regulation and energy supply during stressful conditions.

Enhanced antioxidant activity was also detected under saline conditions. Increased activities of antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD), reflected the activation of protective mechanisms against oxidative stress. Salt stress promoted the formation of reactive oxygen species (ROS), which can damage lipids, proteins, and nucleic acids. Therefore, stronger antioxidant defense systems were associated with greater plant tolerance and survival under unfavorable soil conditions.

The results indicated that soil salinity rarely acts independently but interacts with other environmental stress factors, creating complex ecological challenges for plants.

The combined influence of salinity, drought, high temperature, and nutrient limitation produced stronger negative effects than individual stress factors. Climate change-related increases in temperature and evaporation rates are expected to accelerate soil salt accumulation, particularly in dryland ecosystems and irrigated agricultural areas.

Anthropogenic activities, including improper irrigation, excessive fertilizer application, and land degradation, further intensified soil salinization processes. These disturbances altered soil structure, reduced microbial diversity, and affected ecosystem functioning. The decline in soil biological activity under saline conditions may further limit nutrient cycling and reduce long-term soil fertility.

The findings highlight the importance of edaphic factors as key regulators of plant community composition and ecosystem resilience. Areas with high salinity generally supported fewer plant species, while specialized halophytes dominated these habitats due to their physiological adaptations. Halophyte plants demonstrated mechanisms such as salt exclusion, salt accumulation in specialized tissues, succulence, and efficient antioxidant protection, enabling survival under extreme conditions[7].

The results also emphasize the ecological significance of soil management practices aimed at reducing salinity impacts. Improving organic matter content, maintaining appropriate irrigation regimes, enhancing soil drainage, and selecting stress-resistant plant species are important strategies for restoring saline ecosystems and sustaining agricultural productivity.

Overall, the study confirms that soil salinity, together with other edaphic factors, determines plant performance through complex interactions involving water availability, nutrient dynamics, physiological regulation, and adaptive mechanisms. Understanding these relationships is essential for predicting vegetation responses to environmental change and developing sustainable approaches for ecosystem conservation and land management.

Conclusion

The study demonstrates that soil salinity and other edaphic factors are among the most important environmental determinants influencing plant performance, productivity, and ecological adaptation under stress conditions. Increased soil salinity negatively affects plant growth by inducing osmotic imbalance, ion toxicity, nutrient deficiencies, and oxidative stress, which ultimately reduce photosynthetic activity, biomass accumulation, and reproductive potential. The degree of plant sensitivity to saline conditions varies among species depending on their physiological characteristics, genetic capacity, and adaptive mechanisms.

The findings indicate that salinity does not act as an isolated stress factor; rather, it interacts with other soil properties such as pH, moisture content, soil texture, organic matter, and nutrient availability. These interactions determine the availability of essential resources, root development, microbial activity, and overall ecosystem functioning. Soils with higher organic matter content, balanced nutrient status, and favorable physical properties provide better conditions for plants to tolerate environmental stress, whereas degraded and nutrient-poor saline soils significantly limit vegetation development.

Plants respond to saline environments through a combination of morphological, physiological, and biochemical adaptations, including improved root system development, regulation of ion transport, accumulation of osmoprotective compounds, and activation of antioxidant defense mechanisms. These adaptive strategies allow tolerant species to maintain cellular stability and survive under unfavorable soil conditions. The ability of plants to regulate sodium and potassium balance, preserve photosynthetic efficiency, and control oxidative damage represents a key factor determining their resistance to salinity stress.

The increasing expansion of soil salinization caused by climate change, intensive agriculture, improper irrigation, and land degradation represents a major threat to ecosystem stability and agricultural sustainability. Therefore, continuous monitoring of soil properties, evaluation of plant responses, and implementation of effective soil management practices are essential for reducing the negative impacts of salinity and maintaining ecosystem productivity.

An integrated understanding of soil salinity and associated edaphic factors provides important scientific knowledge for predicting vegetation responses to environmental change, conserving biodiversity, restoring degraded landscapes, and developing stress-resistant agricultural systems. Future research should focus on long-term ecosystem monitoring, plant–microorganism interactions, and molecular mechanisms of stress tolerance to improve strategies for sustainable land management under increasing environmental pressures.

References

1. Bai, Y., Zhuang, H., & Li, X. (2022). Soil salinity stress and plant adaptive mechanisms: Physiological and molecular perspectives. Plant Physiology and Biochemistry, 180, 1–12.
2. Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2021). The physiology of plant responses to drought and salinity stress. Annual Review of Plant Biology, 72, 651–681.
3. Munns, R., & Gilliham, M. (2021). Salinity tolerance of crops: Mechanisms and future perspectives. Plant, Cell & Environment, 44(12), 3285–3302.
4. Raza, A., Charagh, S., & Mehmood, S. S. (2021). Plant adaptation mechanisms to abiotic stresses: From physiological responses to molecular regulation. Plant Biology, 23(5), 731–745.
5. Shao, H. B., Chu, L. Y., Lu, Z. H., & Kang, C. M. (2023). Soil salinity, water limitation, and plant stress responses in changing environments. Journal of Plant Growth Regulation, 42, 2485–2501.
6. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2021). Soil salinity: A serious environmental issue and plant adaptation strategies. Ecological Processes, 10, 1–15.
7. Wang, X., Li, Y., & Zhang, J. (2025). Advances in understanding plant–soil interactions under salinity and climate-related stresses. Plant and Soil, 503, 45–63.
8. Zhou, M., Wang, J., & Liu, Y. (2024). Soil degradation, salinization processes, and ecological restoration approaches in vulnerable ecosystems. Land Degradation & Development, 35(4), 1420–1436.

EDAPHIC FACTORS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: IMPLICATIONS FOR PLANT–SOIL INTERACTIONS

Balakhanova Gumru Vasif
PhD
https://orcid.org/0000-0002-1709-1442
Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Climate change has become one of the major environmental challenges affecting terrestrial ecosystems by altering soil properties and disrupting complex plant–soil interactions. Edaphic factors, including soil moisture, pH, salinity, nutrient availability, organic matter content, soil texture, and microbial activity, play a crucial role in determining plant growth, productivity, adaptation capacity, and ecosystem stability. This study evaluates the influence of climate-induced changes in edaphic conditions on plant–soil relationships and highlights the mechanisms through which soil properties regulate vegetation responses under environmental stress.

The results indicate that rising temperatures, irregular precipitation patterns, and increasing frequency of drought events significantly modify soil water availability, nutrient cycling, carbon dynamics, and microbial processes. Reduced soil moisture and declining organic matter content negatively affect plant physiological functions by limiting nutrient uptake, reducing photosynthetic activity, and decreasing biomass production. At the same time, favorable soil conditions characterized by balanced nutrient availability, stable organic matter levels, and active microbial communities enhance plant resilience and support ecosystem functioning.

Plants respond to climate-related changes in soil conditions through various adaptive mechanisms, including modification of root architecture, regulation of water-use efficiency, accumulation of osmoprotective compounds, activation of antioxidant defense systems, and development of beneficial plant–microorganism interactions. The study emphasizes that edaphic factors do not operate independently but interact through complex feedback mechanisms that determine ecosystem responses to climate change.

Understanding the role of edaphic factors in climate-driven environmental changes is essential for predicting vegetation dynamics, conserving biodiversity, restoring degraded ecosystems, and developing sustainable soil management strategies. Integrated assessment of soil characteristics and plant responses provides valuable knowledge for improving ecosystem resilience and ensuring the long-term stability of terrestrial environments under future climatic conditions.

Keywords: edaphic factors, climate change, plant–soil interactions, soil moisture, soil organic matter, nutrient availability, soil microbial communities, ecosystem resilience, vegetation dynamics, environmental stress.

Introduction

Soil is a fundamental component of terrestrial ecosystems, acting as a complex biological, chemical, and physical environment that regulates plant growth, nutrient cycling, water availability, and ecosystem productivity. The properties of soil, commonly referred to as edaphic factors, play a central role in determining plant distribution, community composition, ecological processes, and ecosystem resilience. These factors include soil texture, structure, moisture content, pH, salinity, organic matter, nutrient availability, microbial activity, and chemical composition. In the context of ongoing climate change, alterations in these edaphic characteristics have become increasingly important because they directly influence plant–soil interactions and determine the ability of ecosystems to adapt to environmental disturbances.

Climate change has significantly modified soil environments through rising temperatures, changes in precipitation patterns, increased frequency of drought events, extreme weather conditions, and altered hydrological processes. These climatic shifts affect soil moisture regimes, accelerate organic matter decomposition, influence nutrient availability, and modify microbial communities. As a result, changes in edaphic conditions can have profound consequences for plant physiological processes, including water uptake, mineral nutrition, root development, photosynthesis, and stress tolerance. Understanding the relationship between climate-driven changes in soil properties and plant responses is therefore essential for predicting ecosystem dynamics under future environmental scenarios[1].

Among the major edaphic factors influenced by climate change, soil moisture availability represents one of the most critical determinants of plant performance. Increased temperatures and prolonged drought periods enhance evapotranspiration, reducing soil water content and creating water stress conditions for plants. Limited soil moisture restricts nutrient mobility and reduces microbial activity, resulting in decreased nutrient acquisition by plant roots. Conversely, excessive precipitation events may cause soil waterlogging, reduced oxygen availability, and changes in soil chemical processes, negatively affecting root respiration and plant survival.

Soil organic matter is another key component affected by climate change. It serves as an important reservoir of carbon and contributes to soil fertility, aggregation, water retention, and microbial diversity. Rising temperatures accelerate microbial decomposition of organic matter, potentially increasing carbon emissions and reducing soil carbon storage. Changes in organic matter dynamics influence nutrient cycling processes and may alter the availability of essential elements such as nitrogen and phosphorus, thereby affecting plant productivity and ecosystem carbon balance.

Soil microbial communities represent an essential link between edaphic factors and plant performance. Microorganisms participate in decomposition, nutrient transformation, plant growth promotion, and resistance to environmental stress. Climate-induced changes in soil temperature, moisture, and chemical properties can modify microbial diversity and functional activity, influencing symbiotic relationships such as mycorrhizal associations and rhizosphere interactions. Disruption of these

microbial processes may reduce ecosystem stability and limit plant adaptation to changing environmental conditions[2].

Soil pH and salinity are also strongly affected by climate-related processes and human activities. Changes in precipitation, evaporation rates, and land-use practices can modify soil acidity, alkalinity, and salt accumulation patterns. Altered pH conditions influence nutrient availability and microbial activity, while increased salinity creates physiological stress by limiting water uptake and causing ion toxicity. These changes may lead to shifts in vegetation composition, favoring stress-tolerant species and reducing biodiversity in vulnerable ecosystems.

Plant–soil interactions are dynamic relationships in which plants influence soil properties through root activity, organic matter input, and microbial associations, while soil conditions determine plant growth, competition, and adaptation strategies. Climate change may disrupt these interactions by modifying resource availability and increasing environmental stress. Plants respond to changing edaphic conditions through various mechanisms, including changes in root architecture, adjustment of nutrient acquisition strategies, accumulation of osmoprotective compounds, and regulation of water-use efficiency. The success of these adaptations depends on species-specific traits and ecosystem characteristics.

Recent ecological research emphasizes that integrated assessment of edaphic factors is necessary for understanding ecosystem responses to climate change. Traditional approaches focusing on individual soil parameters are insufficient because soil properties interact through complex feedback mechanisms. For example, drought-induced reductions in soil moisture may influence microbial activity, nutrient cycling, organic matter decomposition, and ultimately plant productivity. Therefore, comprehensive evaluation of soil physical, chemical, and biological characteristics provides a more accurate understanding of ecosystem resilience and vulnerability[3].

The study of edaphic factors under climate change conditions has important implications for biodiversity conservation, sustainable agriculture, ecosystem restoration, and climate mitigation strategies. Improving knowledge of plant–soil interactions can support the identification of climate-resilient plant species, development of sustainable soil management practices, and protection of ecosystem functions. Consequently, investigating the role of edaphic factors in a changing climate is essential for understanding how terrestrial ecosystems will respond to future environmental challenges and for developing effective approaches to maintain ecological stability.

Materials and Methods

The research was conducted to evaluate the role of edaphic factors in the context of climate change and to determine their influence on plant–soil interactions under changing environmental conditions. The study was based on an integrated ecological approach combining field observations, soil analyses, vegetation assessment, and statistical evaluation. Research sites were selected according to differences in climatic conditions, vegetation characteristics, soil properties, and the intensity of

environmental pressures such as drought, temperature fluctuations, and anthropogenic disturbance.

Soil samples were collected from the upper active soil horizon (0–20 cm depth), which represents the main zone of root development and biological activity. Several samples were taken from each study area using a systematic sampling approach and combined to obtain representative soil samples. In the laboratory, collected soils were air-dried, cleaned from plant residues, sieved, and prepared for physicochemical analysis. The main edaphic parameters affecting plant growth were investigated, including soil moisture, pH, electrical conductivity, soil texture, organic matter content, and nutrient availability.

Soil moisture content was determined to evaluate the influence of climate-related water limitations on plant growth conditions. Soil pH was measured to assess changes in soil acidity and alkalinity, which directly regulate nutrient availability and microbial activity. Electrical conductivity was analyzed to determine the level of soluble salts and identify possible salinity stress conditions. Soil texture was studied to evaluate the effects of particle composition on water retention, aeration, and root penetration. Organic matter content was assessed as an indicator of soil fertility, carbon storage capacity, and microbial habitat quality.

The availability of essential nutrients, including nitrogen, phosphorus, and potassium, was analyzed to determine the relationship between soil fertility and plant productivity. These elements were evaluated because climate-induced changes in temperature and precipitation can modify nutrient cycling processes and influence plant nutrient acquisition. In addition, soil biological characteristics were considered through the assessment of microbial activity, as microorganisms play a fundamental role in decomposition, nutrient transformation, and the formation of beneficial plant–microorganism relationships.

Vegetation studies were carried out simultaneously with soil investigations to evaluate plant responses to variations in edaphic conditions. Plant species composition, abundance, and ecological characteristics were recorded using standard vegetation sampling methods. Selected plant species were analyzed according to morphological and physiological indicators, including plant height, leaf development, root system characteristics, biomass production, and root-to-shoot ratio. These parameters were used to determine the effects of soil conditions and climate-related stress factors on plant performance.

Physiological analyses were performed to assess plant adaptation mechanisms under changing environmental conditions. Chlorophyll content was measured as an indicator of photosynthetic activity, while relative water content was determined to evaluate plant water status under drought and moisture stress. Biochemical indicators, including proline accumulation, soluble carbohydrate content, and antioxidant enzyme activity, were analyzed to identify plant defense responses against environmental stress. The activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase, catalase, and peroxidase were evaluated because they reflect plant capacity to prevent oxidative damage caused by unfavorable environmental conditions.

The relationships between soil characteristics and plant responses were assessed through comparative ecological analysis. Correlation analysis was applied to determine the influence of individual edaphic factors on plant growth and physiological characteristics. Multivariate statistical methods, including principal component analysis (PCA), cluster analysis, and redundancy analysis (RDA), were used to identify the main environmental factors controlling plant–soil interactions under climate change conditions.

The combination of field studies, laboratory investigations, and statistical analysis provided a comprehensive evaluation of how climate-induced changes in edaphic factors influence plant–soil interactions. This methodological approach allowed assessment of ecosystem responses, identification of key soil drivers affecting vegetation dynamics, and determination of factors contributing to plant adaptation and ecosystem resilience under climate change.

Results and Discussion

The obtained results demonstrated that climate change significantly influences edaphic conditions and consequently modifies plant–soil interactions. Variations in temperature, precipitation patterns, and the frequency of extreme climatic events were reflected in changes in soil moisture, nutrient availability, organic matter dynamics, and microbial activity. The analysis showed that edaphic factors act as key regulators of plant growth, species distribution, and ecosystem stability under changing environmental conditions.

One of the most important findings was the strong relationship between soil moisture availability and plant performance. Increased temperature and prolonged drought periods resulted in reduced soil water content, which negatively affected plant physiological processes. Plants growing under moisture-limited conditions showed reduced biomass production, lower leaf development, and decreased photosynthetic activity. Water deficiency influenced root functioning by limiting nutrient uptake and reducing metabolic activity. However, plant species with deeper root systems and higher water-use efficiency demonstrated greater resistance to drought-induced changes in soil conditions[4].

Changes in soil organic matter content represented another important factor affecting plant–soil interactions. Climate warming accelerated the decomposition of organic residues, leading to changes in soil carbon dynamics and nutrient cycling processes. Areas with higher organic matter levels demonstrated improved soil structure, increased water retention capacity, and greater nutrient availability, which supported higher plant productivity. In contrast, soils with reduced organic matter content showed lower fertility and weaker resistance to climatic stress. These results highlight the importance of soil carbon conservation for maintaining ecosystem resilience under climate change.

Soil nutrient availability was also strongly influenced by climate-related changes. Variations in temperature and moisture conditions affected microbial decomposition processes and the release of essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium. Reduced nutrient availability under stressful conditions limited plant

growth and altered vegetation composition. Plants growing in nutrient-poor soils exhibited adaptive responses, including increased root allocation and enhanced interactions with beneficial microorganisms. These mechanisms contributed to improved nutrient acquisition and increased tolerance to environmental stress.

The study revealed that soil pH and salinity changes significantly influenced plant adaptation patterns. Alterations in precipitation and evaporation rates affected soil chemical balance, leading to increased risks of acidification, alkalization, or salt accumulation in vulnerable ecosystems. High salinity conditions reduced plant water uptake and caused ionic imbalance, while extreme pH values decreased nutrient accessibility. Nevertheless, some plant species demonstrated tolerance through physiological adaptations, including regulation of ion transport, osmotic adjustment, and activation of protective biochemical mechanisms.

Soil microbial communities played a crucial role in regulating plant responses to climate-induced environmental changes. Changes in soil temperature, moisture, and nutrient conditions influenced microbial diversity and functional activity. Beneficial microorganisms contributed to nutrient cycling, organic matter decomposition, and plant stress tolerance. In particular, plant-associated microorganisms improved root development and enhanced plant resistance to drought and nutrient limitations. Therefore, changes in microbial communities represent an important pathway through which climate change affects ecosystem functioning.

The analysis of plant physiological responses indicated that vegetation communities developed several adaptation strategies under altered edaphic conditions. Increased accumulation of osmoprotective compounds, such as proline and soluble sugars, helped plants maintain cellular water balance during drought stress. Enhanced antioxidant enzyme activity protected plant tissues from oxidative damage caused by environmental stress factors. Species capable of maintaining stable photosynthetic activity and efficient nutrient uptake demonstrated greater ecological success under changing soil conditions[5].

The results also showed that edaphic factors interact with each other rather than acting independently. For example, drought-induced reductions in soil moisture affected microbial activity, nutrient cycling, and organic matter decomposition simultaneously, creating a cascade of ecological effects. Similarly, increased salinity combined with high temperature intensified physiological stress by reducing water availability and increasing oxidative damage. Therefore, ecosystem responses to climate change depend on the combined effects of multiple soil characteristics and environmental pressures.

From an ecological perspective, changes in edaphic conditions caused by climate change may lead to shifts in vegetation composition, reduction of biodiversity, and changes in ecosystem productivity. Species adapted to specific soil conditions may decline, while stress-tolerant species may expand their distribution ranges. These changes can influence ecosystem services, including carbon storage, soil fertility maintenance, and habitat stability[6].

Overall, the findings confirm that edaphic factors are fundamental components determining plant responses to climate change. Soil properties regulate the availability of resources, influence plant adaptation mechanisms, and control the stability of plant communities. Understanding these complex plant–soil relationships is essential for predicting ecosystem responses, developing sustainable land management strategies, and improving conservation approaches under future climate scenarios.

Conclusion

The study confirms that edaphic factors play a fundamental role in regulating plant–soil interactions and determining ecosystem responses under climate change conditions. Changes in temperature, precipitation patterns, and the frequency of extreme climatic events significantly modify soil properties, including moisture availability, nutrient dynamics, organic matter content, pH balance, salinity levels, and microbial activity. These alterations directly influence plant growth, physiological processes, species distribution, and ecosystem stability.

The results demonstrate that soil moisture and nutrient availability are among the most critical factors controlling plant performance under climate-related stress. Reduced water availability caused by increasing temperatures and drought events negatively affects photosynthesis, biomass production, and nutrient uptake, while soils with higher organic matter content provide improved conditions for plant survival by enhancing water retention, soil structure, and microbial activity. Soil microorganisms also represent an essential component of plant adaptation by supporting nutrient cycling and improving plant resistance to environmental stress.

The interaction between multiple edaphic factors determines the overall capacity of plants and ecosystems to tolerate climate change. Soil salinity, pH changes, nutrient limitations, and moisture fluctuations may create complex stress conditions that influence vegetation composition and ecosystem functioning. However, plants possess various adaptive mechanisms, including root system modification, osmotic regulation, antioxidant protection, and beneficial microbial associations, which allow them to survive under changing soil environments.

Climate change-induced modifications of soil properties represent a significant challenge for biodiversity conservation, sustainable agriculture, and ecosystem management. Maintaining soil quality through organic matter preservation, sustainable land-use practices, improved water management, and protection of soil biological diversity is essential for enhancing ecosystem resilience.

An integrated understanding of edaphic factors and plant–soil interactions provides important insights into the mechanisms controlling ecosystem adaptation under future climatic conditions. Long-term monitoring of soil properties, vegetation dynamics, and microbial processes is necessary to predict environmental changes and develop effective strategies for maintaining ecosystem productivity and stability in the face of global climate change.

References

1. Fierer, N., Wood, S. A., & Bueno de Mesquita, C. P. (2022). How microbes respond to changing soil environments and climate conditions. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 53, 361–384.
2. García-Palacios, P., Gross, N., Gaitán, J., & Maestre, F. T. (2021). Climate change and soil biodiversity: Implications for ecosystem stability and plant productivity. Trends in Ecology & Evolution, 36(11), 1013–1025.
3. Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2021). The physiology of plant responses to drought and salinity stress: Linking environmental signals with adaptation mechanisms. Annual Review of Plant Biology, 72, 651–681.
4. Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., & Nawaz, M. (2023). The critical role of soil properties in plant adaptation to climate change-induced stresses. Plant and Soil, 487, 1–22.
5. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2021). Soil and the intensification of agriculture for climate resilience: The role of soil processes. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 147–162.
6. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2021). The concept and future prospects of soil health. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 544–553.
7. Raza, A., Charagh, S., & Mehmood, S. S. (2021). Plant adaptation mechanisms to abiotic stresses: From physiological responses to molecular regulation. Plant Biology, 23(5), 731–745.
8. Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2021). Plant–microbiome interactions: From community assembly to plant health and climate adaptation. Nature Reviews Microbiology, 19, 607–621.

Section: Economy

DEVELOPING AN ENVIRONMENTAL-ECONOMIC MECHANISM FOR RATIONAL LAND USE IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Yasinetska Iryna
Doctor of Economics Sciences, Professor
Kharchenko Oleksandr
Postgraduate Student
Department of Horticulture and Land Management
Higher Educational Institution «Podillia State University», Ukraine

The rational use of land resources is one of the key prerequisites for the sustainable development of society. Land serves not only as the material foundation of agricultural production but also as a determining factor in ecological balance, social stability, and economic efficiency. In the context of today's global challenges, including soil degradation, climate change, urbanization pressures, and growing demand for food—the issue of developing an integrated ecological and economic mechanism for land use has become particularly urgent [1]. The goal is to create a system capable of harmonizing environmental and economic interests, ensuring the long-term productivity of land resources and their preservation for future generations.

In scientific discourse, the concept of "rational land use" is defined as the organization and management of land resources to ensure their optimal use, taking into account environmental constraints and economic needs [2]. An ecological-economic mechanism is defined as a system of tools, methods, and regulatory measures aimed at harmonizing ecological and economic interests in the process of land use [3]. Sustainable development is viewed as a development model that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs [4].

A review of the literature on classical economic thought [2] focused on the productivity and economic benefits of land use. Environmental schools emphasized the priority of conserving natural resources [3]. Recent studies by the EU, the UN, and Ukrainian researchers [4] propose an integrated approach that combines economic and environmental tools within the framework of sustainable development. Ukrainian authors emphasize the need to develop comprehensive land-use management mechanisms that take into account environmental risks and economic incentives.

Modern land use faces a number of challenges. Environmental challenges include soil degradation, erosion, pollution, and a decline in biodiversity. Economic challenges stem from low land-use efficiency and a lack of investment in land restoration. Social aspects include declining employment in rural areas and threats to food security. Legal

and administrative barriers stem from imperfect land legislation and weak oversight of resource use (Table 1).

Table 1 - Major land use issues and their socioeconomic consequences

Problem category	Specific manifestations	Socioeconomic consequences
Environmental	Soil degradation, erosion, pollution	Decreased crop yields, deterioration in product quality
Economic	Inefficient land use, lack of investment	Loss of competitiveness in the agricultural sector
Social	Decline in employment in rural areas	Rising poverty rates, population migration
Legal	Inadequacies in land legislation	Growth of the shadow land market, corruption risks

Source: compiled by the authors based on [5]

As shown in Table 2, the key instruments of the mechanism vary in nature, but they are united by a common goal—ensuring a balance between economic benefits and environmental responsibility. Financial incentives create conditions for the implementation of environmental practices; legal instruments establish a regulatory framework and increase accountability; technological solutions help reduce resource consumption; and organizational models promote the optimization of land use through cooperation and partnership. Together, these tools form an adaptive land-use management system capable of responding to the contemporary challenges of sustainable development.

Table 2 - Key instruments of the environmental-economic land-use mechanism and expected effects

Tools	Example	Expected impact
Financial	Grants, loans	Promoting environmental practices
Legal	Environmental standards	Increasing accountability
Technological	Precision farming	Reducing resource consumption
Organizational	Cooperatives	Optimizing land use

Source: compiled by the authors based on [6]

Developing an environmental-economic mechanism for rational land use requires a systematic approach (Table 3). One of the key areas is the creation of a multilevel soil condition monitoring system, which should be based on the use of geographic information systems, satellite technologies, and Earth remote sensing data. Such monitoring allows not only for recording the current state of land resources but also for forecasting trends in their degradation, determining optimal land-use models, and responding promptly to environmental risks.

An important element of the mechanism is the financial support for environmental programs. This involves the creation of national and international funds to finance projects for the reclamation of degraded lands, the implementation of precision farming

technologies, and the development of organic production. Such programs should be integrated into the agricultural policy framework and supported by tax incentives for enterprises that use environmentally safe technologies.

Table 3 - Recommended areas for developing an environmental-economic land-use mechanism

Area	Scope	Expected outcome
Monitoring	Use of GIS and satellite technologies	Timely detection of soil degradation, risk forecasting
Funding	Government and international programs, grants	Land reclamation, development of organic production
Legal framework	Liability regulations, environmental standards	Reduction of environmental violations, promotion of environmentally friendly practices
Organizational models	Cooperatives, partnerships	Optimization of resources, implementation of innovations
Education	Training, consulting, professional development	Fostering a culture of sustainable land use

Source: compiled by the authors

The legal framework for this mechanism involves developing clear regulations regarding liability for the degradation of land resources. This refers not only to administrative sanctions but also to the creation of a system of economic incentives that would motivate businesses to adopt environmentally friendly practices. It is also important to improve land legislation in line with the principles of sustainable development, which will help harmonize the interests of the state, business, and society.

The organizational aspect of this mechanism lies in the development of cooperative forms of economic activity, which ensure the optimal use of resources, reduced costs, and increased production efficiency. Cooperatives can serve as a platform for the adoption of innovative technologies, the shared use of equipment, and the exchange of knowledge.

Equally important is the educational component. Raising awareness of environmentally safe technologies among farmers and agricultural enterprises should be carried out through a system of vocational education, training, and advisory programs. This will help foster a new culture of land use focused on long-term efficiency and environmental responsibility.

Conclusions. The study confirmed that the ecological-economic mechanism for the rational use of land resources serves as a tool for ensuring sustainable development, allowing for the simultaneous achievement of economic benefits and the conservation of natural resources. Its implementation creates the conditions for enhancing the competitiveness of the agricultural sector, strengthening food security, and establishing an ecologically balanced model of national development.

Prospects for further research include the development of quantitative indicators of the mechanism’s effectiveness, modeling its impact on socioeconomic processes, and adapting it to the conditions of various regions of Ukraine.

References

1. Hunko, L. A. (2022). Formation of sustainable (balanced) land use as a basic foundation for the development of the land management economy in Ukraine. Agrosvit, 9–10, 51–61. https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.9-10.51
2. Voronko-Nevidnycha, T. V., & Serhiienko, S. S. (2024). Modeling of organizational processes in land use of innovation-oriented agricultural enterprises under change management conditions. Agrosvit, 4, 108–115. https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.4.108
3. Tretiak, A. M., & Tretiak, V. M. (2020). Zoning of lands: legislative collapse and scientific foundations of land use development planning of united territorial communities. Agrosvit, 23, 3–9. https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.23.3
4. Anjomani, A. (2021). An integrated land-use/transportation forecasting and planning model: A metropolitan planning support system. Journal of Transport and Land Use, 14(1), 65–86. [in English] http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2021.1412
5. Kravchuk, O., Nesterenko, S., & Kasyanov, V. (2024). Monitoring and administration of urban environment using geoinformation. Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft, (83), 46–50. [in English] https://doi.org/10.5281/zenodo.12657254
6. Liu, Y., de Vries, W. T., Zhang, G., & Cui, X. (2024). From tradition to smart: A comprehensive review of the evolution and prospects of land use planning tools. Heliyon, 10(23). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40857

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.003.72-77

DYNAMICS OF THE WEDDING FASHION MARKET FROM 2016 TO 2026 IN THE CONTEXT OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND SHIFTS IN CONSUMER BEHAVIOR

Lipinska Liudmyla
Designer, Kotapska Bridal Couture, Persha Prymiska 3,
Chernivtsi, 58000, Ukraine
https://orcid.org/0009-0003-9555-5964

For over a decade, the wedding fashion market was widely regarded as one of the most conservative segments of the apparel industry. The high emotional significance of the occasion and the relatively high purchase cost contributed to the dominance of offline channels and the slow evolution of consumer purchasing patterns. However, between 2016 and 2026, this segment underwent a profound digital transformation that altered both its quantitative parameters and the fundamental logic of interaction between businesses and consumers.

According to Grand View Research, the global wedding apparel market was valued at approximately 82.42 billion USD in 2024 and is projected to reach 109.93 billion USD by 2030, with the Asia-Pacific region accounting for the largest share (approximately 27%) in 2024 [1]. Analysts at Technavio highlight the ongoing premiumization of the segment and the continued dominance of offline channels, which still account for more than 80% of sales due to the tactile nature of the purchase. At the same time, North America contributes approximately 42.7% of the market's growth [2]. These regional figures are drawn from different commercial market-research providers that apply different market definitions and metrics: Grand View Research reports Asia-Pacific as holding the largest regional share of the market by value (approximately 27% in 2024), whereas North America is identified as the leading contributor to market growth (approximately 42.7% according to Technavio) and, in several reports, as the largest market by absolute size. Such figures are industry estimates and should therefore be treated as indicative rather than as official statistics.The combination of steady quantitative growth and qualitative shifts in consumer behavior raises an important research question: how the interaction between digital technologies and changes in consumer behavior has shaped the dynamics of the wedding fashion market, and what implications this holds for businesses operating in this segment.

Scientific interest in individual components of this transformation is reflected in a number of recent publications. The influence of immersive technologies on consumer behavior in the fashion industry was systematized by C. Chen, J. Ni, and P. Zhang, who, based on a review of 69 studies, documented a rapid increase in scientific interest in virtual try-on systems between 2019 and 2023 and identified the key factors driving purchase decisions, ranging from attitudes and symbolic gratification to utilitarian and emotional value [3]. The transformation of digital marketing tools under the influence of fundamental shifts in consumer behavior was examined by L. M. Pomazan, O. A. Yurchenko, and S. O. Kobernyuk, who substantiated the role of artificial intelligence, personalization, social media, and augmented reality in increasing conversion and customer retention [4]. A practical account of the emergence of virtual try-on as an element of sales infrastructure, rather than merely a marketing tool, is presented in industry analytics [5]. At the same time, a substantial part of the problem remains unresolved, namely the absence of a comprehensive retrospective analysis of the bridal fashion segment specifically, within the technology-consumer behavior nexus, over a ten-year period.

The purpose of this paper is to identify and systematize the key vectors of dynamics in the bridal fashion market from 2016 to 2026, driven by digital technologies and shifts in consumer behavior, and to assess their implications for businesses operating in this segment. Achieving this purpose requires a sequential examination of changes in the market's channel structure, in the technological equipment of the customer experience, in consumer behavior, and in the business models gaining prevalence.

This study employs a desk-based research design that combines a structured review of secondary sources with secondary-data analysis. The evidence base covers the period from 2016 to 2026 and comprises three source types: peer-reviewed academic literature (indexed in Scopus or Web of Science and verifiable by DOI), Ukrainian scholarly publications, and commercial market-research reports and industry analytics. Sources were selected against the following inclusion criteria: topical relevance to the bridal or wedding fashion segment at its intersection with digital technologies and consumer behavior; recency, with priority given to data from 2024 to 2026 for market indicators; and verifiability through a DOI or a stable URL. The four analytical vectors examined below (channel structure, the technological equipment of the customer experience, consumer behavior, and business models) were derived inductively through thematic content analysis of the recurring themes identified across the reviewed sources.

The first vector of dynamics was the change in the market's channel structure. Whereas at the beginning of the period the purchase of bridal attire was almost exclusively offline, by 2026 the online channel's share of the broader bridal apparel segment is estimated at approximately one third of sales volume [6], and more than half of brides use digital platforms for searching and preselecting attire [7]. Nevertheless, the final purchase largely remains offline owing to the need for a tactile experience and individual fitting [2], a factor that has entrenched businesses' transition to an omnichannel model in which digital and physical touchpoints complement one another. Geographically, the market remains heterogeneous: North America is estimated to retain its position as the largest market, while the Asia-Pacific region demonstrates the highest growth rates, driven by an increasing number of weddings and rising household incomes [8]. An additional driver has been the spread of destination weddings, which generate demand for multiple attire sets and expand the geographic scope of sales [9].

The second vector is the integration of digital technologies directly into the customer experience. The spread of augmented reality and artificial intelligence tools, including virtual try-on, AI stylists, and digital customization, has transformed these technologies from a marketing gimmick into an element of sales infrastructure. Scientific trends confirm this: the number of studies on virtual try-on systems increased sharply between 2019 and 2023 [3]. In practice, approximately 42 percent of retailers have implemented AI-based size-fitting tools, and approximately 30 percent offer digital customization; a notable example is David's Bridal's 2024 launch of an AI virtual stylist platform, with which more than 50 percent of online users engaged within the first three months [7]. The effectiveness of such solutions is measurable: users of virtual try-on demonstrate substantially higher conversion and retention rates compared with those who do not use it [5]. For the bridal segment, where the cost of an error in size or fit is particularly high, these technologies reduce the uncertainty of choice while simultaneously expanding the pool of potential buyers beyond the salon's geographic reach.

The third vector consists of behavioral changes among consumers themselves. Social media platforms, including Pinterest, Instagram, and TikTok, have become the primary source of inspiration: according to industry estimates, more than 60 percent of brides rely on these platforms when selecting attire, and approximately 40 percent of consumers make decisions under the influence of opinion leaders and stylists [9, 7]. Visual and video-format content has substantially accelerated trend cycles, shortening them from the traditional two to three years to six to twelve months, and high-profile celebrity weddings have a measurable effect on demand for specific styles [9]. In parallel, demand for individualization has intensified: approximately 61 percent of couples choose personalized attire, independently selecting the fabric, trim, and color scheme [6]. Consequently, the bridal fashion consumer increasingly functions not as a passive buyer of a finished product but as a co-author of their own image, a shift that changes the requirements placed on businesses' assortment and communication policies.

The fourth key vector is the growth of environmental awareness and the expansion of circular business models. Approximately 45 percent of brides now prefer fabrics of sustainable origin [7], while numerous brands introduced eco-collections made from recycled and biodegradable materials between 2023 and 2025 [6]. These developments have stimulated growth in the resale and rental markets. In 2024, dedicated platforms for the resale of pre-owned wedding dresses emerged, and rental services allow consumers to reduce costs by 40 to 60 percent compared with purchasing new attire [1, 10]. Wedding dresses account for approximately 38 percent of the premium clothing rental market, with short-term rental for specific events demonstrating one of the highest growth rates. An additional contributing factor is the increasing regulatory pressure on textile sustainability within the European Union [10]. For businesses, these changes have created new revenue streams, including rental, resale, and fitting services, alongside traditional sales.

As shown in Table 1, the evolution of the wedding fashion market between 2016 and 2026 has been shaped by the interplay of these four major vectors.

Table 1. Evolution of Key Parameters of the Wedding Fashion Market from 2016 to 2026

Parameter	State at the Beginning of the Period (around 2016)	State at the End of the Period (around 2026)
Duration of trend cycles	2–3 years	6–12 months (influenced by TikTok and Instagram) [9]
Main source of inspiration	Physical salons and print publications	Social media; more than 60% of brides [9]
Try-on technologies	Physical fitting in salons	AR/AI-powered virtual try-on and AI stylists [5; 7]
Consumption model	Purchase of a new dress	Combination of rental and resale (circular consumption) [1; 10]
Customization	Limited, primarily in the premium segment	Approximately 61% of couples choose personalization [6]
Sustainability	Marginal demand	Approximately 45% of brides prefer eco-friendly fabrics [7]

Source: Systematized by the author based on [1; 5–10].

The shifts presented in Table 1 are not only qualitative but also measurable, allowing an assessment of the depth of the segment's digital transformation across a set of indicators. The realization of these opportunities at the enterprise level occurs primarily through integrated digital marketing. According to L. M. Pomazan, O. A. Yurchenko, and S. O. Kobernyuk, the consistent combination of digital tools, including artificial intelligence, personalization, social media, and data analytics, enables an increase in conversion of 35 to 45 percent, a reduction in customer acquisition cost of 25 to 30 percent, and an increase in customer retention of 30 to 40 percent [4]. This indicates that technological readiness and behavioral shifts translate into economic effect only when systematically aligned within an enterprise's marketing model. A quantitative overview of the key indicators of digital transformation in the bridal segment is presented in Figure 1.

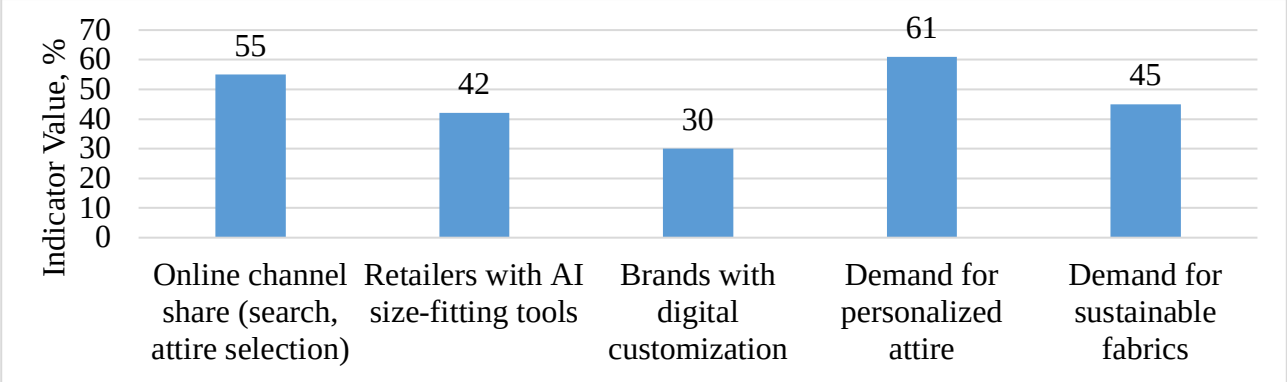


Figure 1. Indicators of Digital Transformation in the Wedding Fashion Segment (Based on 2024–2026 Estimates), % [6, 7]

The distribution of indicators demonstrates that the strongest shifts occurred on the consumer demand side, namely personalization and online engagement, whereas the technological readiness of retail, including AI-based fitting tools and digital customization, continues to lag behind, indicating a reserve of competitive advantage for businesses capable of integrating such solutions more rapidly. For Ukrainian bridal fashion businesses, these findings are particularly relevant given limited budgets and the need to compete for the online-savvy consumer: priority should be given to low-cost digital communication and personalization tools, the development of omnichannel capabilities, and cautious testing of circular formats such as rental and resale.

This study is subject to several limitations. First, it relies predominantly on secondary and commercial market-research data whose underlying methodologies are not always fully disclosed, and estimates diverge across providers owing to differing market definitions. Second, the extrapolation of global estimates to the Ukrainian market is made without primary local data and should therefore be regarded as indicative. Third, the reliance on English-language international sources may introduce geographic and selection bias. Accordingly, the quantitative figures cited above should be interpreted as industry estimates that require corroboration with official statistics and primary research in subsequent studies.

Thus, the dynamics of the bridal fashion market from 2016 to 2026 were characterized by a combination of quantitative growth and premiumization alongside profound qualitative transformation. The key vectors were the transition to an omnichannel model, the integration of virtual try-on and AI-based services into the customer experience, the growing role of social media and the acceleration of trend cycles, and the spread of customization, sustainable consumption, and circular business models. Technology and consumer behavior functioned as mutually reinforcing factors: digital tools enabled new behavioral patterns, while shifting consumer expectations accelerated the adoption of technology. For businesses in this segment, sustainable competitiveness increasingly depends on the ability to combine the value of the offline salon experience with integrated digital marketing and personalization. Prospects for further research lie in the empirical assessment of the outlined processes at the level of the Ukrainian bridal fashion market.

References

1. Grand View Research. (2025). Wedding wear market size and share: Industry report 2030. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wedding-wear-market
2. Technavio. (2026). Bridal wear market analysis: Size and forecast 2026–2030. https://www.technavio.com/report/bridal-wear-market-industry-analysis
3. Chen, C., Ni, J., & Zhang, P. (2024). Virtual try-on systems in fashion consumption: A systematic review. Applied Sciences, 14(24), 11839. https://doi.org/10.3390/app142411839
4. Помазан, Л. М., Юрченко, О. А., & Кобернюк, С. О. (2025). Сучасні інструменти та засоби цифрового маркетингу для просування бізнес-проєктів. Соціальний розвиток: економіко-правові проблеми, (5). https://doi.org/10.70651/3083-6018/2025.5.13
5. Roberts-Islam, M. (2026, April 14). Google, DressX and the new fashion AI virtual try-on stack. Forbes. https://www.forbes.com/sites/moinroberts-islam/2026/04/14/google-dressx-and-the-new-fashion-ai-virtual-try-on-stack/
6. Business Research Insights. (2026). Global wedding wear market size, share and trends, 2035. https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/wedding-wear-market-100354
7. Global Growth Insights. (2025). Wedding wear market size, share and industry report 2035. https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/wedding-wear-market-114135
8. The Business Research Company. (2026). Wedding dresses global market report. https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/wedding-dresses-global-market-report
9. 24 Chemical Research. (2025, August 26). Bridal wear market growth analysis, market dynamics, outlook and forecast 2025–2032. Newstrail. https://www.newstrail.com/bridal-wear-market-growth/
10. Dataintelo. (2026). High fashion rental market research report 2034. https://dataintelo.com/report/high-fashion-rental-market

CHALLENGES IN TEACHING INDEX NUMBER THEORY IN UKRAINE: THE CASE OF PRICE STATISTICS

Vasyechko Olga
Doctor in Economics
NASAA,
Ukraine

The theory of index numbers is a traditional topic in the teaching of statistics and economics at Ukrainian higher education. At the same time, indices, as a research method, are so familiar that they have come to be viewed as somewhat trivial, uncomplicated, and in need of no revision or updating. To a significant extent, the way the theory of index numbers is taught in Ukraine was shaped by the Soviet school of statistics. Furthermore, there is no standalone course on index number theory.

Consequently, the teaching of the theory of index numbers is quite superficial, even for future statisticians, and follows a long-established pattern. At the same time, there is an obvious disconnect between the teaching of the theory of index numbers and economic and statistical realities.

Meanwhile, the theory of index numbers—one of the oldest in economic statistics—has a robust theoretical framework and continues to be the subject of in-depth research and discussion, and rethinking its theoretical and practical foundations [2].

Drawing on our teaching experience and joint research with the French Applied Research Fund in Statistical Computing and Economics, we will examine the challenges of teaching the theory of index numbers using the example of price index, since the index theory has a direct impact on price index.

The first thing we believe needs to be conveyed to students is that the Consumer Price Index (CPI) is one of the key economic indicators, and its theory and practice are influenced by the external economic and political environment as well as the capabilities of official statistics.

The emergence of fundamentally new goods and services, changing consumption patterns, the availability of new information channels, and IT innovations require researchers and practitioners to seek new theoretical and practical solutions for the CPI. Furthermore, given the importance of the CPI for political and economic decision-making, the price index is the subject of constant attention from politicians, economists, the media, and the general public. This creates a risk of manipulation in situations where the democratic foundations of society are insufficient to guarantee that statistical institutions maintain an adequate level of impartiality and transparency in their statistical procedures. Two conclusions follow from the above. First, the theory and practice of the CPI are part of economic and political reality and are in a state of constant renewal and improvement. Second, there is a need to ensure a method of CPI producing that would inspire the public’s unwavering trust in statistical institutions.

Another important aspect of teaching economic indices is the understanding that the theoretical foundations of an index are not abstract concepts but are designed to solve a specific problem, and that the ideal concept of an index consists of a set of clearly formulated hypotheses and requirements. The development of an index encompasses four areas: the formulation of theoretical assumptions, statistical methodology, data collection, and index construction [1].

The general purpose of a price index is to measure changes in the price vector by eliminating the influence of changes in the quantity vector. Since it is impossible to cover all goods sold on the market, the accepted approach to constructing the CPI has become the so-called “basket approach to index numbers,” which involves measuring changes in the price vector for a specific, representative consumer basket using fixed weights (a fixed quantity vector) for each category of consumer goods. In other words, the CPI is a weighted average of elementary indices for a representative set of goods, based on formulas such as the Laspeyres, Lowe, and Paasche indices [3]. The main problem to be solved in this context is the selection and justification for the weights numbers.

Historically, the theoretical justification for the weighting system has been addressed through various approaches, namely - the stochastic approach, axiomatic (or test) approach, and economic approach. Among these three approaches, the economic approach to index numbers is the widely recognized conceptual framework for the CPI. Despite the imperfections in the calculation results, it is the economic approach that allows for the integration of the theory of index numbers and microeconomics—specifically, consumer theory. Within the economic approach, consumer theory, based on the utility function and its optimization, provides a basis for the core issues of the CPI [2]. Index number theory, therefore, serves as the statistical foundation for conceptualizing the CPI; its economic basis is consumer theory, and its general methodological framework is the System of National Accounts (SNA).

An examination of each of the three approaches mentioned—including an explanation and practical demonstration of their strengths and weaknesses—should be the cornerstone of teaching the theory of index numbers and the price index issue, as this will enable future statisticians to be more than just mechanical compilers of indices; it will also allow them to understand their essence and identify ways to improve them. In this sense, students should be familiar not only with the Laspeyres and Paasche formulas, but also with all the main formulas proposed by Lowe, Jevons, Edgeworth, Theil, Walsh, Fisher, Konüs, Törnqvist, Dutot, and Carli within each of the approaches mentioned.

The CPI methodology covers a broad range of issues related to the transition from an ideal (theoretical) index to its practical implementation. Unlike the stage of index theorization, the methodology also takes into account the possibilities for obtaining information—information channels and their availability to official statistics—that is, statistical reality. These include issues such as the constant change in the range of proposed consumer goods and services (the emergence of new ones, the updating or disappearance of old ones), changes in quality, the influence of sellers’ marketing

policies, the seasonality of goods, and the emergence of new types of retail. Students should be familiar with the principles of forming and updating the consumer basket, the sampling design and its modifications in connection with the emergence of new types of trade and consumption, the main methods for adjusting for the quality and seasonality of goods and services, as well as the types of information required for this purpose. It is also worth noting the importance of teaching the fundamentals of hedonic model in this context.

The CPI is an indicator of price evolution and is intended to ensure comparisons over time, which requires students to understand the principle of index chaining and the selection and justification of a base year. At the same time, students must understand the difference between a base year and a reference year, as well as the principle of changing the base year. It is also important to understand which index properties allow for index chaining and base year updating.

Data collection and the construction of a price index are the final and, to a large extent, decisive stages in the overall CPI production. They are decisive in the sense that the availability and accessibility of specific data sources determine the extent to which the theoretical (ideal) index can be implemented in practice. The choice of the Laspeyres formula as the framework for the CPI—rather than other formulas—is due precisely to the limitations of the data available at the time the index is calculated. This applies, first and foremost, to data on the shares of consumption in the current period for constructing the weights. Traditional sources of information also have significant limitations in updating the composition of the consumer basket and in accounting for changes in the quality and seasonality of goods.

Recent decades have been marked by technological progress in IT field and the rapid development of new forms of commerce. On the one hand, this refers to e-commerce through online services that provide information about available products, including descriptions and prices, and take into account current discounts and other promotions. The growth of online shopping became particularly widespread during the COVID-19 pandemic, when people’s movement was temporarily restricted. This also led to the disappearance of a number of retail establishments that failed to pivot to online commerce in a timely manner. On the other hand, a characteristic global trend is the relentless displacement of small and medium retail establishments by large supermarket chains, which are often owned by multinational companies. Supermarkets are becoming the standard form of retail in every corner of the world, even in less developed countries—and, importantly, they are located not only in urban areas but also in rural areas, offering the identical range of products and prices. Payment for goods purchased at supermarkets is made by scanning the GTIN (Global Trade Item Number) code with a cash register, which simultaneously records the product name, price, number of units purchased, and total cost (sales). Website data and scanned data are valuable sources of information for the CPI.

Numerous countries have begun using—or have projects in place to collect—data from websites through web scraping and scanned supermarket transaction data (corporate data). This data used then for statistical purposes, specifically to calculate

the CPI. New data sources for the CPI offer extensive opportunities to improve the index, bring it closer to the ideal concept, and reduce time, labour, and financial costs, as well as the burden on respondents.

The final stage in the production of the CPI is data aggregation—that is, the actual calculation of the index. Students should be familiar with the technique of aggregating data from an incomplete (representative) set of goods, and should also understand the possibility of using different techniques (models) and indices at various levels of aggregation. It is important to realize that the CPI is not, strictly speaking, a Laspeyres index, but rather a Laspeyres-type index [5]. Students should also understand which index property makes it possible to combine sub-indices of different natures in the overall calculation.

One issue arising from the availability and potential use of scanned transaction data for statistical purposes is the development of multilateral price indices alongside traditional bilateral indices. Students should be familiar with such multilateral indices as the GEKS index (Gini–Eltetö–Köves–Szulc), the WTPD index (weighted time–product dummy), and the GK index (Geary–Khamis) [4]. The hedonic model mentioned above is also an essential part of the subject matter of multilateral price indices.

Examining each of these topics requires IT support. Given current trends in official statistics, it makes sense for students to acquire skills in working with software such as R or Python in parallel courses.

To develop a comprehensive course on the index method, it is necessary to draw upon and recommend to students a wide range of information sources—including theoretical, methodological, and scientific-practical materials—as well as relevant recommendations and guidelines from international organizations.

Covering the issues discussed above—which are relevant to official statistics—opens up new, contemporary perspectives for students and ensures that future statisticians acquire a more comprehensive body of knowledge and skills.

Acknowledgements:

I would like to thank the Applied Research Fund in Statistical Computing and Economics for the assistance and constructive suggestions during the development of this research.

References

1. Boskin, M., E. Dullberger, R. Gordon, Z. Griliches, and D. Jorgenson. (1996). Toward a More Accurate Measure of the Cost of Living: Final Report to the Senate Finance Committee From the Advisory Commission to Study the Consumer Price Index. United States Senate Committee on Finance, Advisory Commission to Study the Consumer Price Index.
2. Cruz-e-Silva, V., Balk, B. M. (2026). Price Indices Rekindled, 1970s–1990s: Theory and Practice at Cross Purposes?. Journal of Economic Surveys, 2026; 40:898–914.

3. Diewert, E. (2024). The Ottawa Group After 30 Years. In 18th Meeting of the Ottawa Group, Statistics Canada/Bank of Canada. URL: https://stats.unece.org/ottawagroup/meeting/18.
4. Guide on Multilateral Methods in the Harmonised Index of Consumer Prices. (2022). Eurostat. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
5. Manuel de l'indice des prix à la consommation Théorie et pratique. (2004).OIT, URL: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@stat/documents/presentation/wcms_331155.pdf.

INTEGRATION OF ESG PRACTICES IN THE INTERNATIONAL ARENA: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF ESG RISKS

Ivanenko Olena
Ph.D. in Economics, Associate Professor
Department of Statistics, Information and Analytical Systems, and Demography
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

The integration of ESG concepts is becoming an essential component of the activities of companies and countries under the influence of globalization and increasingly stringent requirements for international sustainability reporting standards. By ensuring transparency, accountability, and effective risk management, international organizations and financial institutions such as the World Bank, the United Nations, and the International Monetary Fund are actively promoting the implementation of ESG standards.

Rating agencies such as MSCI play a key role in integrating environmental factors into management and investment decision-making processes—achieved through the implementation international reporting standards, the use of ESG ratings and regulatory disclosure requirements, and the development of sustainable finance, are played by rating agencies such as MSCI, S&P Global, Moody's, and Fitch Ratings. One example is the key characteristics of MSCI's climate indices. Based on specific rules, these indices take into account the opportunities and risks associated with the transition to a low-carbon economy. These metrics help investors reduce carbon emissions and make a positive contribution toward achieving the goals of the Paris Agreement.

For a comparative analysis of ESG risks, an integrated approach is used, which involves calculating a composite indicator, where

$Score_i$ is the score for a specific indicator;

$Weight_i$ is the weighting factor.

Based on this fundamental principle, the assessment of an individual indicator is a normalized value that brings different indicators onto a single scale. This study uses indicators from the environmental component of ESG:

– CO_2 emissions;

– energy intensity;

– share of renewable energy.

For comparison, we will use World Bank data broken down by indicators and countries.

Table 1 – Comparative Assessment of Countries' ESG Risks

Indicator	Germany	China	Ukraine
CO_2 (metric tons per person)	~6.9	~8.7-9.0	~3.1-3.6
Renewable Energy (% of Final Consumption)	~19-21%	~15-16%	~8-9%
Energy Intensity (MJ/$ GDP, PPP)	~3.0-3.5 (low)	~5.5-6.5 (high)	~4.0-4.5 (average)

Source: Created by the author based on the data [2,7,8]

When comparing the ESG risks of the three countries, it can be concluded that Germany occupies a balanced position, characterized by low energy intensity and a high share of renewable energy. Although CO2 emissions are high, resource efficiency and the institutional environment indicate a low level of ESG risks. In contrast to Germany, China has a significant environmental impact, yet it is demonstrating an active transformation of its energy sector, with renewable energy accounting for 15–16% of total consumption, which indicates positive structural changes. Due to high levels of CO2 emissions and the economy's energy intensity, elevated environmental risks are emerging, which affect the overall ESG profile. Based on the analyzed indicators, Ukraine faces elevated ESG risks due to its low share of renewable energy and average energy intensity, which indicates a low level of ESG practice implementation.

The level of ESG risks directly depends on the effectiveness of government policies in the energy and environmental sectors, as well as the country's ability to adhere to the principles of sustainable development. A comparative risk assessment allows for the identification of the strengths and weaknesses of business environment development models.

The table below provides a comparative overview of the returns on ESG-oriented stock indices, specifically MSCI's climate indices, which meet the standards as of May 4, 2026:

– PAB (Paris-Aligned Benchmark) aligned with the goals of the Paris Agreement;

– CTB (Climate Transition Benchmark) indices tracking the transition to a low-carbon economy [1,4].

The data reflect the performance trends of the indices, the effectiveness of ESG investments over time, and various regional markets, namely the U.S., Europe, Japan,

Germany, and the world as a whole. This makes it possible to evaluate the investment strategy.

Table 2 — Historical returns of MSCI climate-related indices (CTB and PAB) by region as of July 15, 2026

Index	Index code	Last	Day	MTD	3M	YTD	1 YR
MSCI World Climate Change Paris Aligned Select PAB Index	731391	4625.98	0.47%	1.00%	7.64%	10.05%	23.25%
MSCI World Climate Change CTB Index	726315	4514.57	0.35%	0.68%	7.46%	9.99%	--
MSCI Japan Climate Change CTB Index	726319	2508.53	0.98%	1.22%	8.21%	17.21%	35.34%
MSCI Japan Climate Change ESG Select CTB Index	735125	2525.39	1.02%	1.07%	9.35%	17.21%	34.80%
MSCI World Climate Change CTB Select Index	735478	4594.37	0.45%	0.99%	7.45%	9.97%	23.03%
MSCI Germany Climate Change ESG Select CTB Index	728908	1965.48	-0.28%	1.19%	6.39%	4.60%	--
MSCI World Climate Change ESG Select CTB Index	728912	4739.99	0.25%	0.20%	9.54%	10.82%	24.32%
MSCI EMU Climate Change ESG Select CTB Index	729003	2478.02	-0.29%	-1.02%	3.29%	5.01%	12.87%
MSCI USA Climate Change ESG Select CTB Index	729005	6895.49	0.36%	0.47%	13.00%	13.34%	28.80%
MSCI Europe Climate Change ESG Select CTB Index	729004	2289.82	0.12%	-0.37%	2.50%	5.08%	14.02%

Source: Compiled by the author based on data from [4,5,6]

A comparative analysis shows that ESG indices demonstrate stable positive trends over the medium and long term, specifically:

– long-term returns;

– competitiveness with traditional indices;

– regional performance.

In particular, the global MSCI World Climate Change indices (PAB and CTB) have risen by more than 10% year-to-date and approximately 23% on an annualized basis, demonstrating the high investment potential of climate-responsible strategies. This indicates that the integration of ESG factors not only boosts returns but can also serve as a driver of financial growth.

The MSCI Japan Climate Change CTB Index has demonstrated the highest performance among the markets under review, with returns exceeding 17% year-to-

date and nearly 35.3% on a year-over-year basis. This performance is driven by the high level of development of the Japan stock market, the significant share of technology companies, and the active integration of ESG principles into corporate strategies; markets with a more developed institutional framework and access to innovation have better opportunities for implementing climate investment strategies.

European indices, specifically the MSCI Europe Climate Change ESG Select CTB and the MSCI EMU Climate Change ESG Select CTB, have shown more moderate returns of 12–14% year-to-date. This may be due to the impact of macroeconomic factors, energy challenges, and a stricter regulatory environment, which, while promoting sustainable development, simultaneously limits short-term

The MSCI Germany Climate Change ESG Select CTB deserves special mention, as it has posted the lowest returns among developed economies (about 4,6% year-to-date). This reflects structural challenges in the German economy, particularly its reliance on industrial production and the energy transition, which is accompanied by significant costs.

American segment, represented by U.S. climate indices, is showing stable, albeit moderate, growth (over 13,34% year-to-date), indicating the gradual integration of ESG principles into regional financial markets.

It is also important to take short-term fluctuations into account: most indices recorded a slight decline on the last trading day. This reflects the general volatility of financial markets and does not affect the long-term growth trend of ESG investments.

Conclusions. The study's results show that ESG investing, particularly through MSCI climate indices, is an effective tool for ensuring both financial returns and the achievement of sustainable development goals. The high growth rates of global and Japanese indices confirm the competitiveness of ESG strategies, while regional differences highlight the importance of considering macroeconomic and institutional factors when constructing an investment portfolio. Thus, integrating ESG criteria into the investment decision-making process is not only an ethical but also an economically sound approach in the current context of global economic development.

References

1. Corporate Sustainability Assessment (CSA) [Electronic resource]. // S&P Global. – Available at: URL: https://www.spglobal.com (accessed July 12, 2026).
2. International Energy Agency. Data and statistics [Electronic resource]. // IEA. – Available at: URL:https://www.iea.org/data-and-statistics (accessed July 12, 2026).
3. Green Transition Office [Electronic resource]. // ESG Research 2025: Recommendations of the Green Transition Office. – Available at: URL: https://gto.dixigroup.org/assets/images/files/doslidzhennia-esg-2025-rekomendatsii-ofisu-zelenoho-perekhodu-1.pdf (accessed July 13, 2026).
4. MSCI Climate Change CTB Indexes [Electronic resource] // MSCI. – Available at: URL: https://www.msci.com/indexes/group/climate-change-indexes (accessed July 14, 2026).

5. MSCI Index 736059 [Electronic resource]. // MSCI. – Available at: URL: https://www.msci.com/indexes/index/736059 (accessed July 14, 2026).
6. MSCI ESG Ratings Methodology [Electronic resource]. // MSCI. – Available at: URL: https://www.msci.com (accessed July 15, 2026).
7. Transparency International Ukraine [Electronic resource]. // TI-Ukraine. – Available at: URL: https:// https://ti-ukraine.org/en/ (accessed July 14, 2026).
8. World Development Indicators [Electronic resource] // World Bank Group. – Available at: URL: https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators (accessed July 12, 2026).

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.004.86-90

ASSESSMENT OF THE SOCIOECONOMIC RESILIENCE OF HOUSEHOLDS WITH CHILDREN IN THE PROCESS OF HUMAN CAPITAL REPRODUCTION

Ogay Maryna
Ph.D., Leading Research Fellow, Doctoral Student,
Department of Modeling of Socio-Economic Processes and Structures
Mykhailo Ptukha Institute for Demography and Life Quality Research of the NAS of Ukraine, Ukraine

In the context of a protracted full-scale war and a deep demographic crisis, the preservation and qualitative reproduction of human capital is becoming a decisive factor in the national security and post-war recovery of Ukraine. Households where women raise infants and preschool-aged children serve as the core institution for shaping the country's future labour potential. Concurrently, the socioeconomic resilience of these families directly determines mothers' economic behavior and their capacity to form a stable labour supply [1, 2].

The socioeconomic resilience of households in the process of human capital reproduction is defined as their capacity to ensure the continuous and qualitative development of a child's potential (physiological, educational, and social) under conditions of long-term instability. This concept extends beyond the purely financial dimension of the household budget. Such resilience integrates material security against deprivations, the viability of housing strategies (particularly for internally displaced families – IDPs), and mothers' adaptability in the labour market, which is supported by the development of accessible and safe childcare infrastructure as well as effective state instruments designed to lower the transactional barriers to childcare.

At the same time, in the contemporary realities of Ukraine, each of these dimensions of resilience is undergoing critical deformation, thereby blocking the reproduction of human capital at the household level. The destruction of social

infrastructure, forced displacement, and macroeconomic shocks have turned potential resources of adaptation into high-risk areas. Instead of securing child development and mothers' professional self-realization, families face multidimensional deprivation and the forced economic inactivity of women.

For a profound analysis of these processes and the search for pathways to mitigate them, this study – drawing primarily on data from national surveys by the United Nations Children's Fund (UNICEF) – thoroughly examines the relationship between the financial and housing status of families, risks to human capital development, and mothers' capacity to realize their labour potential [3, 4].

The foundation of a child's human capital is fundamentally established in early childhood; therefore, empirical research findings demonstrating the devastating impact of poverty on this process in contemporary Ukrainian realities serve as a critical wake-up call. Long-term trends indicate a chronic lag in the actual well-being of families with children compared to childless households. Moreover, the high dependence of these families on wages (constituting approximately 68per cent of the total income structure of families with children, compared to 46per cent in childless households) [3] under conditions of macroeconomic instability maximizes the risks of sudden loss of livelihoods.

The current financial profile of households with children clearly illustrates the economic factors constraining the labour supply [4]. The budgets of most families with children under 9 years of age are limited to a critical threshold of UAH 25 000 per month, while among parents of children under 6, every third family lives on a monthly average income of less than UAH 15 000. This income deficit is exacerbated by a lack of savings: lacking a "financial buffer" even for a single month and bearing an additional credit burden (18 per cent of households), women lose the economic capacity to cover the transactional costs necessary for employment (transportation, childcare services, etc.). Consequently, a vicious circle of poverty is formed, wherein a low level of well-being demands the mother's return to employment, yet the lack of basic resources and labour market instability result in her forced economic passivity.

The war has qualitatively altered the nature of poverty in Ukraine, transforming it into a multidimensional phenomenon. The rise of child poverty measured by material deprivations is particularly hazardous, as the lack of access to basic services and socialization during childhood establishes long-term inequality.

The results of the 2025 study highlight a critical deficit in the development of children under 7 years of age [4]:

– Nearly a third of families cannot afford additional extracurricular development activities or field trips. The lack of funds for summer recreation (16per cent) and shared leisure activities with peers (18per cent) leads to the child's social isolation;

– Even at an older age, a deficit in funding educational activities persists (15per cent), alongside a registered lack of funds to purchase equipment for full physical development and outdoor recreation (9per cent).

The greatest threat to the qualitative reproduction of human capital is observed in single-parent families, where women raise children on their own. Here, material

deprivation affects even the physiological level – namely, a child's adequate and balanced nutrition. Coupled with the destruction of infrastructure and an increase in time dedicated to unpaid care work, this solidifies the economic unemployment of women and reduces the quality of children's initial human capital.

The stability of the labour supply is directly linked to the housing conditions of the employed. Overcrowded housing in families with children (0.83 rooms per person compared to 1.63 in childless households) reduces psychological resilience and the capacity of household members to recover. The destruction of a significant portion of the country's housing stock has forced families to enter the rental market en masse, where over 40 per cent spend more than 30 per cent of their income on rent, thereby draining funds that could otherwise be invested in child development [5].

A distinct housing pattern is observed in the labour potential of internally displaced persons (IDPs): in urban settlements, the share of rented housing among families with children reaches 35 per cent. Among families with the youngest children (aged 0–2) renting housing in cities, 80 per cent have IDP status. Overall, across all tenants with children, the share of IDPs ranges from 30per cent to 56 per cent, depending on the child's age [2, 4]. This high concentration of IDPs among tenants indicates their mobility, but concurrently points to the profound financial vulnerability of this group.

Due to high expenditure on housing rentals, IDP women are forced to accept any employment to cover basic needs. However, the lack of permanent housing, against the backdrop of overcrowded kindergartens in host western regions (for instance, 110 children per 100 places in the Ivano-Frankivsk region) and a nation-wide shortage of preschool capacity (with 20 per cent of children on waiting lists) [4], disrupts their long-term integration into local labour markets.

The limited impact of the existing social protection system on the financial resilience of families highlights the need for a fundamental shift in the state paradigm regarding support for families with children. Data from national studies have clearly demonstrated the passive nature of previous policy instruments: the estimated contribution of state assistance and benefits to the overall budget of two-parent families with children under 6 was only 6per cent, while for households with children aged 7–9, this indicator dwindled to a critical 1per cent. Concurrently, financial transfers were significant exclusively as a survival tool for single-parent families (which constitute every fourth household with children under 9) [4]. In such families, the share of social assistance reached 14 per cent of the budget for those with children under two, and 20 per cent for those with children aged 3–6. This evident inefficiency of payouts in stimulating the economic activity of the majority of mothers, alongside the social institutions' focus solely on mitigating extreme poverty, became key prerequisites for transitioning to a policy of labour supply activation, as reflected in the new legislation.

An attempt by the state to partially offset the consequences of the declining birth rate and stimulate mothers' labour supply was the adoption of the Law of Ukraine No. 4681-IX [6]. This step marks a clear intention to shift the focus of social policy toward reconciling parenthood with professional activity, although the proposed instruments

are largely compromise-oriented and do not fully resolve existing financial contradictions:

Monetary support upon childbirth has seen only a moderate increase – from UAH 41 280 to UAH 50 000. Such growth under inflationary pressure is capable of providing only basic and short-term financial support for the family;

The introduction of monthly payments to pregnant women without a working history (UAH 7 000) and assistance until the child reaches 1 year of age (UAH 7 000) is aimed at partially maintaining the stability of the family budget during the period when the woman is objectively forced to remain completely outside the labour market;

The initiative most aligned with labour market integration is the launch of the "e-Yasla" (e-Nursery) program, which provides a monthly compensation of UAH 8 000 for the care of children aged 1 to 3, provided that mothers return to full-time employment. This instrument is a direct response to the acute infrastructural deficit in the country, where only one in seven places in urban preschool and childcare facilities is accessible for children under three, and the overall enrollment of this age cohort does not exceed 18per cent [4].

In summarizing the above, the following conclusions can be drawn:

The problem of human capital reproduction in contemporary Ukraine lies at the intersection of deep material deficits and infrastructural constraints of the labour market. A lack of financial savings and the low income of a third of families with children limit investments in early development, nutrition, and socialization. The high duration of mothers' care work and the limited accessibility of preschool institutions are the primary factors constraining the female labour supply.

IDP women with young children in urban areas form a specific segment of the labour market: they have a maximum need for employment due to the pressure of rental costs, but are limited in their choice of workplace due to a lack of residential and social stability.

The adoption of the Law of Ukraine No. 4681-IX is a step by the state toward shifting social policy priorities toward activating the labour supply [6]. However, the implementation of these instruments will have a compromise effect, as their success extends beyond purely monetary regulation. The actual efficacy of the initial stage of the reform (specifically, the "e-Yasla" program) and the prospective implementation of the "e-Sadok" (e-Kindergarten) initiative in 2028 will critically depend on the physical availability and restoration of a developed network of childcare services at the local level, as well as on the readiness of mothers to rapidly re-enter the labour market under security risks. A systemic exit from the cycle of poverty requires moving beyond purely monetary transfers. State policy must simultaneously develop safe preschool infrastructure and reduce the transactional costs that prevent mothers from returning to work.

Thus, effective state support must transform from a tool for "survival" into an active lever of socioeconomic resilience for families. This entails creating conditions under which the financial security of families and the opportunity for parents' professional self-realization will become a reliable foundation for the continuous development of a child's potential under conditions of long-term instability.

References

1. Ogay, M. Yu. (2025). Transformation of human capital in Ukraine: Demographic and educational dimensions [Transformatsiia ludskoho kapitalu v Ukraini: demohrafichnyi ta osvitnii vymiry]. Statystyka Ukrainy, (3), 30–42. doi: 10.31767/su.3(110)2025.03.06 [in Ukrainian].
2. Ogay, M. (2025). Gender asymmetry in childcare and its economic consequences for the labour market of Ukraine [Henderna asymmetryia dohliadu za ditmy ta yii ekonomichni nasledky dlia rynku pratsi Ukrainy]. In Labour in the XXI Century: Latest Trends, Social Dimension, Innovative Development: Materials of the International Scientific and Practical Conference (Kyiv, October 23–24, 2025) (pp. 210–213). Kyiv National Economic University. Retrieved from https://ir.kneu.edu.ua/items/ad4919ea-2bac-49c6-97cb-c876eed1036b [in Ukrainian].
3. Socio-economic Status of Households of Ukraine (according to the results of the nationwide sample household socioeconomic status survey (HSESS), conducted in December 2023 – February 2024). (2024, July 24). Kyiv: UNICEF. Retrieved from https://www.unicef.org/ukraine/documents/social-economical-state-2023-24
4. Tsymbal, O., Ostafiichuk, Y., Ogay, M., Yarosh, O., Krymova, M., & Krymer, B. (2026). Access to early childhood education and care and women's economic empowerment in Ukraine: National study (Summary report). United Nations Children's Fund (UNICEF). Retrieved from https://www.unicef.org/ukraine/media/58141/file/ECEC-WEE-summary_EN.pdf
5. Cedos. (2024). Housing and residential conditions of Ukrainians: Survey results. Cedos with the support of the Housing Initiative for Eastern Europe (IWO) e.V. Retrieved from https://cedos.org.ua/en/researches/housing-and-residential-conditions-of-ukrainians-survey-results/
6. Verkhovna Rada of Ukraine. (2025). On amendments to certain laws of Ukraine regarding the support of families with children and the creation of conditions conducive to combining parenthood with professional activity: Law of Ukraine No. 4681-IX of November 5, 2025. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4681-20#Text [in Ukrainian].

Section: Finance and Banking

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.005.91-94

ФІСКАЛЬНА РОЛЬ ПОДАТКУ З ДОХОДІВ ФІЗИЧНИХ ОСІБ В УКРАЇНІ ТА ФЕДЕРАТИВНІЙ РЕСПУБЛІЦІ НІМЕЧЧИНИ

Глухова В.І.
к.е.н., доцент
Лижова Є.М.
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна

Податок на доходи фізичних осіб (ПДФО) є одним із ключових структурних елементів бюджетної системи як розвинутих, так і країн із перехідною економікою. Його фіскальна роль визначається трьома взаємопов'язаними функціями: формуванням дохідної бази публічних фінансів, перерозподілом доходів між соціальними групами та сигналізуванням про стан ринку праці й рівень формалізації зайнятості.

В Україні ПДФО традиційно виступає основним джерелом власних доходів місцевих бюджетів, забезпечуючи в мирний час понад 60–65% їх податкових надходжень [1]. Завдяки децентралізаційній реформі 2014–2021 рр. 64% суми податку залишалося у бюджетах територіальних громад, 15% - в обласних бюджетах, і лише 21% спрямовувалось до державного бюджету. Така модель зміцнювала фінансову автономію місцевого самоврядування й відповідала принципам субсидіарності, закріпленим у Бюджетному кодексі України [2].

Федеративна Республіка Німеччина використовує іншу модель розподілу аналогічного за природою податку - прибуткового (Einkommensteuer / Lohnsteuer) [3]. Зважаючи на те, що цей податок є Gemeinschaftsteuer («спільним» податком), він ділиться між федерацією (Bund) та землями (Länder) у пропорції 42,5% до 42,5%, тоді як громади (Gemeinden) отримують лише 15% - суттєво меншу частку порівняно з Україною. Водночас Німеччина компенсує це через горизонтальний вирівнювальний механізм (Länderfinanzausgleich) [4,5,6].

Порівняльний аналіз цих двох систем є науково актуальним з огляду на євроінтеграційний курс України та необхідність гармонізації бюджетних відносин. Водночас повномасштабне військове вторгнення росії з лютого 2022 р. кардинально змінило умови формування бюджетних доходів: зросли видатки на оборону та безпеку, відбулося масове переміщення платників податків, скоротилась база оподаткування на окупованих та прифронтових територіях. У

2024 р. уряд вилучив із місцевих бюджетів надходження від ПДФО з грошового забезпечення військовослужбовців на користь державного бюджету - рішення, що мало значний фіскальний ефект і породило дискусію щодо балансу між оборонними потребами та фінансовою спроможністю громад.

У 2021–2025 рр. надходження ПДФО до зведеного бюджету зросли з 349,7 до 792,6 млрд грн, тобто на 126,65%. При цьому надходження до місцевих бюджетів збільшилися з 212,2 до 300,3 млрд грн, або на 41,52%, а до державного бюджету – зі 137,5 до 492,3 млрд грн, або на 258,04%. (табл.. 1)

У 2022–2023 рр. спостерігалося зростання надходжень на всіх рівнях бюджетної системи. У 2024 р. надходження ПДФО до місцевих бюджетів зменшилися на 11,02% порівняно з 2023 р., тоді як до державного бюджету зросли на 57,61%. У 2025 р. надходження до місцевих бюджетів відновили зростання та досягли 300,3 млрд грн, а загальний обсяг ПДФО у зведеному бюджеті збільшився до 792,6 млрд грн. Отже, головною тенденцією стало суттєве посилення ролі державного бюджету в розподілі надходжень ПДФО (табл. 1).

Таблиця 1 - Надходження ПДФО до місцевих, державного та зведеного бюджетів України у 2021-2025 рр., млрд грн

Рівень бюджету	**2021 (факт),** млрд грн	**2022 (факт),** млрд грн	**2023 (факт),** млрд грн	**2024 (факт),** млрд грн	**2025 (факт),** млрд грн	**Відх. відн. 2025/2021**
Місцеві бюджети	212,2	272,2	289,4	257,5	300,3	41,52%
Державний бюджет	137,5	148,4	206,9	326,1	492,3	258,04%
Зведений бюджет	349,7	420,6	496,3	583,6	792,6	126,65%

* побудовано на основі [10]

Для оцінювання фіскальної ролі оподаткування доходів фізичних осіб доцільно проаналізувати їхню питому вагу в загальному обсязі податкових надходжень відповідних бюджетів.

Аналіз свідчить, що, наприклад, у 2025 р. надходження ПДФО становили 300,35 млрд грн, або 59,53% усіх податкових надходжень місцевих бюджетів. До державного бюджету надійшло 492,31 млрд грн ПДФО, що становило 24,42% його податкових надходжень. У зведеному бюджеті частка ПДФО дорівнювала 31,45% [10]. Отже, ПДФО залишається ключовим джерелом податкових доходів місцевих бюджетів, тоді як для державного бюджету його фіскальне значення є суттєвим, але нижчим.

Для порівняння з Україною аналогічний показник було проаналізовано для бюджетної системи Німеччини. Це дає змогу зіставити не лише моделі розподілу податку, а й його фактичне значення у формуванні податкових надходжень кожного рівня бюджету (табл 2.).

Таблиця 2 - Фіскальна роль оподаткування доходів фізичних осіб у податкових надходженнях бюджетів Німеччини у 2025 р.

Рівень бюджету	**Надходження від податку із заробітної плати та прибуткового податку, визначеного за результатами декларування, млрд євро**	**Загальні податкові надходження, млрд євро**	**Частка, %**
Федерація (Bund)	144,95	388,71	37,29
Федеральні землі (Länder)	144,95	415,29	34,9
Громади (Gemeinden)	51,16	150,9	33,9

* побудовано на основі [7,8,9]

Отже, у 2025 р. у Німеччині надходження від податку із заробітної плати та прибуткового податку, визначеного за результатами декларування (Lohnsteuer та veranlagte Einkommensteuer), становили 144,95 млрд євро у федеральному бюджеті, 144,95 млрд євро у бюджетах земель та 51,16 млрд євро у бюджетах громад. Їх частка у загальних податкових надходженнях відповідних рівнів становила 37,29%, 34,90% та 33,90%. Отже, прибуткове оподаткування фізичних осіб відіграє вагому фіскальну роль на всіх рівнях бюджетної системи Німеччини, формуючи близько третини їхніх податкових надходжень.

Порівняння свідчить, що в Україні ПДФО має особливо високе фіскальне значення для місцевих бюджетів, формуючи більше половини їхніх податкових надходжень. У Німеччині прибуткове оподаткування фізичних осіб відіграє більш рівномірну роль на всіх рівнях бюджетної системи: його частка становить близько третини податкових надходжень федерації, земель і громад. Отже, українська модель характеризується вищою залежністю місцевих бюджетів від ПДФО, тоді як у Німеччині фіскальна роль цього податку є більш збалансованою між рівнями публічної влади.

Інший важливий аспект полягає в тому, що в Німеччині механізм Länderfinanzausgleich (горизонтальний вирівнювальний трансфер між землями) забезпечує перерозподіл фінансових ресурсів між фінансово сильнішими та слабшими землями, сприяючи зменшенню регіональних диспропорцій. В Україні аналогічну функцію виконують базова та реверсна дотації. Водночас в умовах воєнного стану ефективність міжбюджетного вирівнювання ускладнюється через суттєві відмінності у впливі бойових дій на економічну активність та податкову базу окремих територій.

Отже, ПДФО залишається одним із ключових джерел доходів бюджетної системи України та важливим чинником фінансової спроможності територіальних громад. Порівняння з Німеччиною показало, що українська модель характеризується вищою концентрацією фіскальної ролі цього податку на місцевому рівні, тоді як у ФРН його значення є більш збалансованим між федерацією, землями та громадами. Водночас стійкість державних фінансів України залежить не лише від внутрішніх податкових надходжень, зокрема ПДФО, а й від своєчасного зовнішнього фінансування, зокрема в межах Ukraine Facility [11].

Список використаних джерел

1. Макроекономічний огляд. Випуск № 7, липень 2019 р. Міністерство фінансів України. 2019. URL:https://mof.gov.ua/storage/files/Макроекономічний%20огляд_%20Липень%202019.pdf (дата звернення: 15.07.2026).
2. Бюджетний кодекс України : Кодекс України від 08.07.2010 № 2456-VI. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17 (дата звернення: 15.07.2026).
3. Lohn- und Einkommensteuer. Statistisches Bundesamt (Destatis). URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/Lohnsteuer-Einkommensteuer/_inhalt.html (дата звернення: 15.07.2026).
4. Financial relations between the Federation and Länder on the basis of constitutional financial provisions 2025. Federal Ministry of Finance. Berlin, 2025. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Press_Room/Publications/Brochures/financial-realations-federation-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (дата звернення: 15.07.2026).
5. Wer bekommt welche Steuern? Bundesministerium der Finanzen. 2026. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Bilder/Infografiken/wer-bekommt-welche-steuern.html (дата звернення: 15.07.2026).
6. Anteil an den Gemeinschaftsteuern nach Art. 106 Grundgesetz und Gewerbesteuerumlage. Bundesministerium der Finanzen. 2023. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Monatsberichte/2023/02/Inhalte/Kapitel-3-Analysen/Tabellen/b01-5.html (дата звернення: 15.07.2026).
7. Steuereinnahmen 2025 summieren sich auf rund 990 Milliarden Euro. Statistisches Bundesamt (Destatis). 2026. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/Steuereinnahmen/steuereinnahmen.html (дата звернення: 15.07.2026).
8. Die ergiebigsten Steuern 2025. Statistisches Bundesamt (Destatis). 2026. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Staat/Steuern/_Grafik/_Interaktiv/ergiebigste-steuerarten.html (дата звернення: 15.07.2026).
9. Kassenmäßige Steuereinnahmen nach Steuerarten und Gebietskörperschaften: aktuelle Ergebnisse. Bundesministerium der Finanzen. 2026. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Steuerschaetzungen_und_Steuereinnahmen/1-kassenmaessige-steuereinnahmen-nach-steuerarten-und-gebietskoerperschaften.html (дата звернення: 15.07.2026).
10. Державний вебпортал бюджету для громадян «Open Budget» / Міністерство фінансів України. URL: https://openbudget.gov.ua/national-budget/incomes (дата звернення: 15.07.2026).
11. The Ukraine Facility. European Commission. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_en (дата звернення: 15.07.2026).

Section: Geography, Geology and Geodesy

ОБЧИСЛЕННЯ ДОПУСТИМОГО ВІДХИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВІД ВЕРТИКАЛІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Бачишин Б.Д.
к.т.н., доцент
Ярмолін Д.В.
аспірант
Кафедра геодезії та картографії
Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна

Залізобетонні колони – один із найбільш масових та відповідальних конструктивних елементів в сучасному будівництві. Щоб оперувати оптимальними значеннями похибок геодезичних робіт, які б забезпечували надійне функціонування колон та будівельного об’єкту загалом при мінімальних затратах на геодезичні роботи, необхідно врахувати вплив похибок геодезичного забезпечення на зміну зусиль в конструкції та на основі аналізу цих змін встановити точність такого забезпечення. В нормативних будівельних документах регламентуються допустимі відхилення при спорудженні (монтажі) залізобетонних колон [1] в залежності від висоти колони. Розміри, площа поперечного січення колон, площа арматури, а тим більше зусилля, які виникають в колоні не враховуються у цих документах. В останні роки популярним напрямком наукових досліджень є врахування впливу похибок всіх технологічних етапів спорудження будівельних об’єктів на зміну зусиль в конструкціях [2, 3, 4]. Але дослідження ці стосуються унікальних будівельних споруд: будівельних оболонок, вантових покриттів, баштових споруд, мостових переходів, фундаментів газокомпресорних станцій, для яких відсутні допустимі відхилення елементів в нормативних документах. Ми не зустрічали публікацій, в яких були спроби визначити допустимі похибки геодезичних робіт для масових будівельних конструкцій – залізобетонних колон, спираючись на аналіз напружено-деформованого стану останніх.

Якщо проаналізувати похибки технологічного ланцюжка при монтажі залізобетонних колон, то не всі вони впливають на зміну зусиль в конструкції. Зміщення низу колони в плані відносно осей практично не впливають на напружено-деформований стан колони. Мають вплив похибки геометричних розмірів поперечного січення при виготовленні колони та похибки площі поперечного січення при виготовленні і деформації арматури, а також похибки встановлення колони у вертикальне положення.

Останні приводять до двох негативних ситуацій з точки зору роботи колони як пружного тіла:

- зменшується робочі розміри поперечного січення колони, а отже і висота стисненої зони бетону і, як наслідок, зменшується опір перерізу;

- з'являється додатковий випадковий ексцентриситет прикладання зусилля, що веде до збільшення розрахункового зусилля.

На основі методики обґрунтування точності геодезичних робіт, розробленої в [4] для оболонок, ми отримали формулу середньої квадратичної похибки відхилення колони від вертикалі $m_м$, викликаної похибками всього будівельного ланцюжка.

$$m_м = \sqrt{\frac{m_R^2 - b^2x^2(h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 - (A_S'(h_0 - a'))^2 m_{R_S}^2 - (R_S(h_0 - a'))^2 m_{A_S'}^2 - (R_S A_S)^2 m_{a'}^2}{R_b^2 x^2(h_0 - 0.5x)^2 + R_b^2 b^2(h_0 - x)^2 + (R_b \cdot b \cdot x + R_S \cdot A_S')^2}} \quad (1)$$

де m_R –середня квадратичні похибки опору, R_b, R_S – нормативна призмова міцність бетону та арматури відповідно, b – номінальна ширина перерізу колони, x – висота стисненої зони бетону, h_0 – робоча висота перерізу ($h_0 = h - a$), h – номінальна висота перерізу, a – віддаль від рівнодіючої зусиль в розтягнутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону), A_S' – номінальна площа перерізу арматури в стисненій зоні, a' – віддаль від рівнодіючої зусиль в стиснутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону), а буквами m з відповідними індексами позначені середні квадратичні похибки цих параметрів. Розрахунок колон виконують як позацентрово-стиснутих елементів. Призначення допусків на монтаж здійснюють за умови: зусилля в колоні не повинно перевищити опору з початковою надійністю H(0).

Похибка $m_м$ є результатом дії кількох складових: температурних деформацій на початковому етапі експлуатації, похибок, викликаних усадкою і повзучістю бетону в стиках колони з верхнім і нижнім перекриттями, похибок, викликаних статичною роботою колони на початковому етапі експлуатації – отримання навантаження від перекриття, колон верхніх поверхів та перекриттів наступних поверхів та похибок геодезичних розмічувальних, монтажних робіт та похибок виготовлення і деформації конструкцій. Для розрахунків ми використали вимогу мізерності впливу складової геодезичних робіт $m_Г$ на загальну похибку $m_м$

Для переходу від середньої квадратичної похибки до граничного відхилення ми використали єдиний коефіцієнт 2,5.

$$\delta_Г = \frac{2.5 m_м}{\sqrt{10}} \quad (2)$$

Розрахунок за даною методикою виконано для 10 типів реальних колон. Для розрахунку використані усереднені показники похибок $m_{R_b} = 0.125R$ $m_{R_S} = 0.09R_S$ з [5-7]. Середнє відносне відхилення площі арматури становить 2,25% в [5, 6]. Коливання товщина захисного шару бетону складає 6–8% [5, 6].

В [7] приведене середнє квадратичне відхилення товщини захисного шару бетону для монолітних колон – 20,9 мм.

В розрахунках прийнято: $m_{cm} = 0{,}05 \cdot S_{cm}$, висота стисненої зони бетону $x = 0.93 \cdot b$, випадковий ексцентриситет $e = h/30$, початкова надійність для колон $H(0) = 0.999$ [8], що відповідає $\beta_g = 3.25$. Усі колони виготовлені з бетону марки С20/25 ($R_b = 18.5$ МПа) та арматури класу А400С ($R_S = 400$ МПа). Результати розрахунків приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків

Об'єкт	R, Нм	S, Нм	$m_м$, мм 1-е набли ження	$\delta_Г$, мм ($k = 2.5$)	$\delta_Г$, мм з ДБН	$\delta_Г$, мм ($k = 2$)
Нетішин 1	2323788	79957	86,1	34,5	20	27,6
Нетішин 5	883177	42561	57,2	15,6	20	12,5
Нетішин 9	556410	7858	48,2	34	20	27,2
Молокозавод 1	556410	14095	47,5	29,6	23	23,7
Молокозавод 2	556410	23680	46,4	21,4	23	17,1
Набережний квартал	582459	31120	47,0	14,6	23	11,7
Адмін. центр	1467523	30116	103,8	29,8	23	23,8
Сковороди 1	729087	9362	54,0	38,2	23	30,6
Сковороди 2	729087	3020	54,6	41,8	23	33,4
Сковороди 3	729087	10643	53,9	37,4	23	29,9

Для порівняння отриманих результатів ми використали значення граничних відхилень рисок на колоні для багатоповерхових будинків з мітками осей в нижньому січенні – ± 8 мм та у верхньому січенні ± 12 мм при довжині колони до 4 м і ± 15 мм при довжині колони від 4 до 8 м [1]. При несприятливому випадку граничне відхилення від вертикалі згідно [1] становитиме відповідно ± 20 мм для колон довжиною до 4 м та ± 23 мм при довжині від 4 до 8 м.

Отримані результати свідчать про таке:

Граничні відхилення від вертикалі для залізобетонних колон, отримані на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, є співрозмірними, близькими до граничних відхилень, приведених в нормативних документах. Це свідчить про можливість і правомірність застосування згаданого методу обґрунтування точності геодезичного забезпечення для інших будівельних конструкцій, в тому числі унікальних.

Як і очікувалося, ми отримали диференційовані значення граничних відхилень для колон однакової довжини, тому, що наш метод враховує опір та зусилля конструкції а також їх варіації та варіації аргументів опору та зусилля.

Застосований тут метод розрахунку граничних відхилень є більш повним і універсальним, адже враховує, крім того, імовірнісний показник надійності всієї конструкції.

Список використаних джерел

1. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87 – М. : Стройиздат, 1991. – 192 с.
2. Бачишин, Б. Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення будівельних конструкцій на основі аналізу їх роботи як пружних тіл. Стан та перспективи / Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – К. –2014.– Вип.61. – С. 6–12.
3. Чібіряков, В. К. Визначення точності геодезичних робіт при будівництві аркових мостових опор / В. К. Чібіряков, В. С. Старовєров, О. В. Адаменко // Інженерна геодезія. – К. – 2010. – Вип.55. – С. 195–203.
4. Бачишин, Б. Д. Допустимі похибки геодезичного забезпечення спорудження оболонок/ Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – К. –2002.– Вип.46. – С. 8–14.
5. Судаков, В. В. Контроль качества и надежности железобетонных конструкций / В. В. Судаков. – Л. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
6. Кудзис, А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А. П. Кудзис. – Вильнюс: Москлас, 1985. – 156 с.
7. Кузеванов, Д. В. Надежность внецентренно сжатых железобетонных элементов при расчете по прочности нормальных сечений : дис. … канд. техн. наук / Д. В. Кузеванов. – М., 2012. – 187 с.
8. Пічугін, С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія / С.Ф. Пічугін. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. – 520 с.

Section: History and Cultural Studies

ELEVATING SOGDIAN HERITAGE TO GLOBAL RECOGNITION: TRANSNATIONAL TRAJECTORIES, DIGITAL INFRASTRUCTURE, AND MECHANISMS FOR HARMONIZING INTERNATIONAL STANDARDS

Indiaminova Shoira Amriddinovna
Associate Professor, Samarkand State Institute
of Foreign Languages

Abstract The Sogdian civilization, historically recognized as the preeminent commercial and cultural intermediary of late antiquity, possesses a heritage of profound global significance. However, the epistemological fragmentation of archaeological sites across modern nation-states, coupled with disparate and often under-resourced preservation methodologies, has severely hindered its cohesive global recognition. This paper proposes a comprehensive, multi-tiered framework to elevate Sogdian heritage to the global stage. It does so by integrating transnational collaborative trajectories, deploying advanced "Semantic Digital Twin" infrastructure, and rigorously harmonizing local conservation practices with international heritage standards. By transitioning from localized, siloed preservation to a unified, digitally interoperable, and standardized transboundary model, this study outlines actionable mechanisms to secure both the physical and intellectual preservation of Sogdian antiquities. Ultimately, the paper argues that the global valorization of Sogdian heritage necessitates a paradigm shift from isolated national narratives to a synergistic, technologically advanced, and internationally standardized transboundary heritage management ecosystem.

Keywords: Sogdian Heritage, Transnational Heritage Diplomacy, Semantic Digital Twins, Heritage Standardization, Linked Open Data, Earthen Architecture Conservation, Silk Road.

1. Introduction: The Epistemological Fragmentation of Sogdiana

The Sogdians, whose historical and geographic footprint spanned the fertile valleys of Transoxiana to the imperial heartlands of Tang China, operated as the vital connective tissue of the ancient Silk Road. Their legacy-manifested in the monumental urban landscapes of Afrasiyab, Panjikent, and Varakhsha, as well as in their extensive epigraphic, numismatic, and artistic records-represents a foundational chapter in the narrative of global interconnectedness. Despite this, Sogdian heritage remains largely marginalized within broader global historical discourses, often siloed within regional academic paradigms and localized preservation frameworks.

The core challenge in elevating Sogdian heritage is not merely a deficit in physical conservation, but an issue of epistemological fragmentation. Because the historical geography of Sogdiana does not align with modern political boundaries, its study and

preservation are frequently constrained by contemporary national borders. To transition Sogdian heritage from a subject of niche regional scholarship to a universally recognized global asset, a multidimensional and highly integrated approach is imperative. This paper explores three critical, interlocking pillars for achieving this global recognition: (1) establishing transnational collaborative trajectories and heritage diplomacy, (2) deploying robust, interoperable digital infrastructure, and (3) harmonizing local preservation practices with stringent international standards.

2. Transnational Trajectories: Beyond the Nation-State Paradigm

The historical reality of Sogdiana was inherently transnational, characterized by fluid borders, cosmopolitan urban centers, and extensive diaspora networks. Therefore, a transnational approach to its heritage is not merely advantageous; it is an epistemological necessity that reflects the historical truth of the civilization itself.

2.1. Synergizing Cross-Border Interdisciplinary Research The first mechanism for global recognition is the institutionalization of transnational, interdisciplinary research consortia. Moving beyond traditional archaeological excavations, future initiatives must integrate archaeometallurgy, bioarchaeology, and isotopic analysis to trace the movement of Sogdian populations and goods. This requires the establishment of joint scientific commissions that treat Sogdian sites not as isolated national monuments, but as nodes within a single, continuous cultural and economic landscape. By pooling bioarchaeological data from cemeteries in the Zerafshan Valley with material culture found in Chang'an, scholars can reconstruct a holistic narrative of Sogdian mobility that transcends modern geopolitical limits.

2.2. Heritage Diplomacy and the Counter-Narrative to Nationalism Elevating Sogdian heritage requires leveraging it as a tool for “heritage diplomacy.” In a region where modern historical narratives are sometimes constrained by ethno-nationalist paradigms, the Sogdian legacy offers a powerful counter-narrative. The Sogdians were inherently cosmopolitan, facilitating the transmission of Zoroastrianism, Buddhism, Manichaeism, and Nestorian Christianity, alongside diverse artistic motifs. By framing Sogdian heritage as a historical testament to globalization, trade integration, and religious pluralism, Central Asian states can align their cultural policies with the broader diplomatic objectives of international bodies such as UNESCO, the UN Alliance of Civilizations, and the Shanghai Cooperation Organization (SCO). This transforms heritage from a localized historical interest into a vehicle for modern regional cooperation.

2.3. Community-Centric Transnational Engagement Global recognition must also be rooted in local relevance. Transnational heritage management often fails when it operates solely as a top-down, state-level endeavor. Mechanisms must be established to integrate local communities along the historical Sogdian routes into the heritage narrative. This involves developing community-based tourism initiatives, localized educational curricula, and participatory conservation projects that ensure the economic and social benefits of heritage recognition are felt at the grassroots level, thereby fostering a sense of shared, transboundary stewardship.

3. Digital Infrastructure: From Static Digitization to Semantic Digital Twins

Physical preservation of Sogdian sites is increasingly threatened by climate change, rapid urbanization, and the natural, accelerated degradation of earthen architecture. Digital infrastructure offers a dual solution: the perpetual preservation of empirical data and the democratization of global scholarly and public access.

3.1. High-Fidelity Documentation and Multispectral Imaging The implementation of advanced spatial technologies is crucial, but it must move beyond basic 3D modeling. The creation of "Semantic Digital Twins" represents a critical leap. Unlike static photogrammetric models, these dynamic digital environments integrate spatial data with temporal, material, and environmental metadata. For the fragile, highly degraded murals of Panjikent and the faded epigraphic records of the Mount Mugh documents, the deployment of multispectral imaging and Reflectance Transformation Imaging (RTI) is essential. These technologies allow for the non-invasive recovery of invisible pigments and faded inks, revealing new historical data while creating sub-millimeter digital surrogates that serve as baselines for physical conservation.

3.2. Interoperable Ecosystems and Linked Open Data (LOD) Data collection is futile without accessible, interoperable platforms. The development of a centralized "Sogdian Digital Heritage Repository" must be architected around the principles of Linked Open Data (LOD). By utilizing the Semantic Web, disparate databases from museums and institutes in Uzbekistan, Tajikistan, China, and Japan can be interconnected. This allows a researcher to query a specific Sogdian coin minted in Samarkand and instantly retrieve linked data regarding its metallurgical composition, its archaeological context, and its visual parallels in Japanese temple deposits. This level of semantic interoperability transforms fragmented data into a cohesive, globally accessible knowledge graph.

3.3. Artificial Intelligence in Heritage Reconstruction The integration of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) offers unprecedented opportunities for Sogdian studies. AI algorithms can be trained to recognize and digitally reconstruct fragmented mural motifs based on extant comparative data. Furthermore, Natural Language Processing (NLP) models, specifically trained on the Sogdian script and related Middle Iranian languages, can assist in the transliteration and translation of fragmentary texts, significantly accelerating the pace of philological research and making primary sources accessible to a broader, non-specialist global audience.

4. Harmonizing International Standards: The Framework for Global Integration

Digital infrastructure and transnational cooperation can only achieve global resonance if they are underpinned by rigorous, internationally recognized standards. Harmonization ensures that Sogdian heritage data is compatible with global databases and that physical conservation meets the stringent criteria of international heritage bodies.

4.1. Ontological Standardization via CIDOC CRM To ensure semantic interoperability across global digital humanities platforms, the Sogdian digital repository must strictly adopt the CIDOC Conceptual Reference Model (CIDOC CRM). This ISO standard provides a common ontology for cultural heritage. In the context of Sogdiana, CIDOC CRM allows for the complex modeling of historical networks-mapping the relationships between merchants, caravanserais, religious institutions, and traded goods. By structuring data according to this ontology, Sogdian heritage seamlessly integrates with international aggregators, ensuring its visibility in global digital ecosystems.

4.2. Contextual Adaptation of Conservation Charters Physical conservation and management plans must align with the UNESCO Operational Guidelines and ICOMOS charters. However, harmonization does not mean blind adherence; it requires the contextual adaptation of global frameworks. For instance, the application of the Venice Charter to the fragile, earthen architecture of the Zerafshan Valley requires nuanced interpretation. The original European, stone-centric paradigms do not fully address the cyclical degradation of mud-brick in arid and semi-arid climates. Therefore, local conservation protocols must be harmonized with specialized international guidelines, such as the ICOMOS principles for earthen heritage, ensuring that stabilization techniques respect both the material authenticity and the traditional craftsmanship of Sogdian architecture.

4.3. Legal Harmonization and the Combat of Illicit Trafficking Transnational heritage management requires the synchronization of legal frameworks. Mechanisms must be established to align the antiquities laws, export regulations, and intellectual property rights of the involved nations with the 1970 UNESCO Convention and the 1995 UNIDROIT Convention. Furthermore, the digital infrastructure must incorporate blockchain-based provenance tracking for excavated artifacts. This immutable ledger technology can combat the illicit trafficking of Sogdian antiquities by providing a verifiable chain of custody, thereby protecting the archaeological context and ensuring that the heritage remains in the public domain.

5. Mechanisms for Implementation and Sustainable Capacity Building

Transitioning from theoretical frameworks to practical, sustainable implementation requires robust institutional and financial mechanisms.

5.1. Innovative Financing and Public-Private Partnerships The financial burden of digital infrastructure and transnational conservation cannot be borne by state budgets alone. Mechanisms must be developed to attract diverse international funding. This includes applying for “heritage green bonds,” leveraging climate finance for the adaptation of historical sites to climate change, and tapping into global tech-philanthropy funds for digital infrastructure. Furthermore, public-private partnerships (PPPs) can be structured to develop sustainable, high-value, low-impact tourism models that generate revenue for heritage preservation while providing economic dividends to local communities.

5.2. The “Train-the-Trainer” Capacity Building Model Global recognition is ultimately contingent upon local expertise. International capacity-building programs

must evolve beyond short-term workshops to establish a “Train-the-Trainer” model. This involves creating a regional “Sogdian Heritage Center of Excellence,” jointly managed by Central Asian universities and leading global institutions. This center would focus on advanced training in digital humanities, archaeometric analysis, and heritage management. By empowering local scholars to become regional experts and international trainers, the initiative ensures the long-term sustainability and intellectual sovereignty of the research.

6. Conclusion

The Sogdian heritage is not merely a regional historical asset; it is a foundational chapter in the narrative of human mobility, cultural exchange, and early globalization. Elevating this heritage to its rightful place in global recognition requires a decisive departure from fragmented, localized, and analog approaches. By forging transnational collaborative trajectories rooted in heritage diplomacy, deploying state-of-the-art Semantic Digital Twin infrastructure, and rigorously harmonizing local practices with international conservation and ontological standards, the global community can ensure the perpetual preservation and celebration of the Sogdian legacy.

Ultimately, the integration of these mechanisms will transform Sogdian heritage from a collection of isolated, degrading archaeological sites into a dynamic, globally accessible, and universally recognized intellectual resource. In doing so, we not only secure the physical and digital survival of Sogdian antiquities but also provide a vital historical mirror for understanding the complexities, benefits, and enduring nature of cross-cultural interconnectedness in our modern world.

References

1. Belenitsky, A., & Marshak, B. (2004). The Great Civilization of Ancient Sogdia: Art and Archaeology of the Pre-Islamic Period. Tashkent: Academy of Sciences of Uzbekistan.
2. de la Vaissière, É. (2005). Sogdian Traders: A History. Leiden: Brill Academic Publishers.
3. Doerr, M. (2003). "The CIDOC Conceptual Reference Module: An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Cultural Heritage Data." AI Magazine, 24(3), 75-92.
4. ICOMOS. (2017). Principles for the Conservation of Heritage Sites in China (and related earthen architecture guidelines). Paris: ICOMOS International.
5. Marshak, B. I. (2002). Legends, Tales, and Fables in the Art of Sogdia. Naples: Università degli Studi di Napoli "L'Orientale".
6. UNESCO. (2021). Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. Paris: UNESCO World Heritage Centre.
7. Whitfield, S., & Wang, T. (2019). "Digital Humanities and the Silk Road: New Frameworks for Cultural Heritage and Linked Open Data." Journal of Digital Humanities in Asia, 4(2), 112-135.
8. Zhou, G., & Frachetti, M. (2022). "Beyond the Nation-State: Transboundary Archaeologies of the Early Silk Road." Antiquity, 96(385), 145-162.

Section: Information Technology, Cyber Security and Computer Engineering

CYPRESS AS A TOOL FOR AUTOMATED VERIFICATION OF THE CRITICAL USER PATH IN THE SIMPLE BOOKING SYSTEM EDUCATIONAL WEB APPLICATION

Kalashnyk Valerii
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2345-4377
Kolysko Oksana
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4043-1238
Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Abstract. The paper examines the use of Cypress for the automated verification of the critical user path in the training of future QA/SDET professionals. The critical user path is defined as a sequence of actions and control states within a web application, the successful completion of which enables the user to achieve their primary business objective. In the Simple Booking System educational project, this path includes searching for an available offer, selecting a room, entering personal data, submitting a booking request, and receiving confirmation of the operation. A sequence for transforming a textual scenario into an executable E2E specification with checkpoints at the user interface, network interaction, and final system state levels is proposed. The use of data-cy selectors, assertions, automatic waiting, and HTTP request interception is considered. A risk-oriented indicator for assessing the completeness of critical path verification is proposed for methodological evaluation. It is demonstrated that the use of Cypress contributes to the development of a systematic understanding of the interaction between the UI, API, and business logic.

Keywords: Cypress, End-to-End testing, critical user path, Simple Booking System, test automation, web application, QA, SDET.

Introduction. A modern web application consists of interconnected components, including a client interface, server-side API, database, authentication mechanisms, and external services. The correct operation of each individual component does not guarantee that the user will successfully complete an end-to-end business process. Incorrect parameter transmission, inconsistencies between interface and server states, or page navigation errors may disrupt an operation even when unit and API tests have passed successfully.

End-to-End testing is intended to verify a system from the perspective of the end user and covers a sequence of actions from the initial interaction to the achievement of the expected result [7]. At this level, navigation, element availability, data transmission to the API, and the display of the final web application state are verified simultaneously. E2E tests are more complex to execute and maintain than unit-level checks. They depend on the state of the test environment, prepared test data, network speed, and the availability of associated services. Therefore, browser-level automation should primarily focus on scenarios that directly determine the core value of the software product [5].

In this study, the critical user path is considered an ordered sequence of actions and checkpoints, the failure of any of which prevents the primary business objective from being achieved. In a booking system, this objective is the creation of a confirmed booking. The path begins with searching for an available room and ends with the display of a successful operation message and its identifier. In educational practice, students often perceive user interface automation as merely reproducing a sequence of button clicks. A script may open a page, complete a form, and click a button without verifying whether the correct request was generated, whether the system state changed, or whether the user received valid confirmation. Without assertions, such a sequence remains an automated set of actions rather than a complete test. Cypress combines browser control with the verification of DOM states, network requests, and interface responses [3]. Automatic waiting and repeated assertion evaluation reduce the need for static delays. This makes it possible to represent the critical user path as an executable specification in which each significant action is associated with an expected result.

Aim and objectives of the study. The aim of the study is to substantiate the use of Cypress for the automated verification of the critical user path in the Simple Booking System educational web application. To achieve this aim, the following objectives were defined: to formalize the critical user path for the booking process; to identify its main stages and checkpoints; to develop the structure of a Cypress E2E scenario; to demonstrate verification at the interface, network, and business levels; to examine the system's response to a server error; to propose an indicator of verification completeness; and to determine the educational value of the approach.

Research results and discussion. The Simple Booking System educational project implements functions for searching for available rooms, viewing offers, entering user data, creating a booking, and displaying the result of the operation. E2E automation focuses not on an individual interface element but on a complete business scenario. This approach makes it possible to trace the relationship between user actions, page states, HTTP requests, and the result of the server-side operation [1].

The critical booking path is represented as the following sequence: home page → entering search parameters → receiving available offers → selecting a room → completing the form → submitting the request → confirming the booking.

Each stage corresponds to a checkpoint. After the page is opened, the availability of the search form is verified. After the parameters are entered, the submission of a request containing the expected values is checked. Once the response is received, the display of available offers is verified. After a room is selected, the opening of the

booking form is checked. Following form submission, the test verifies a successful API response, navigation to the result page, and the display of the operation identifier. At the design stage, the student analyzes the User Story and acceptance criteria. For example: “As a registered user, I want to find an available room for the selected dates and create a booking so that I can receive accommodation confirmation.” This statement is used to identify the preconditions, input data, actions, intermediate states, and expected result.

The preconditions include the availability of the test environment, an authenticated user, and a prepared room available for booking. The input data include the city, dates, number of guests, name, and email address. The final result is a created booking with the expected status and a message confirming the successful operation. The checkpoints of the critical path should be divided into three levels. At the interface level, the presence, visibility, and state of elements are verified. At the network level, the request method, endpoint, and response status code are checked. At the business level, the final result is verified: the creation of the booking and the display of its identifier.

This division prevents a scenario from formally completing without confirmation of the actual result. Clicking the “Confirm” button does not prove that a booking has been created. The test must establish that the server accepted the request, returned the expected status code, the interface transitioned to a new state, and the user received the operation identifier.

The elements of the critical path use data-cy attributes that do not depend on CSS classes, visual styles, or text localization [4]. For example, the search field may be assigned the attribute data-cy="search-input", the room card may use data-cy="room-card", and the confirmation button may use data-cy="confirm-booking". In this study, stable selectors are treated as a supporting condition, while the primary focus is placed on selecting meaningful checkpoints.

A shortened example of a positive E2E scenario is presented below:

```
describe('Critical booking path', () => {
  it('creates a confirmed booking', () => {
    cy.intercept('POST', '/api/bookings').as('booking');
    cy.visit('/');
    cy.get('[data-cy="search-input"]').type('Kyiv');
    cy.get('[data-cy="search-submit"]').click();
    cy.get('[data-cy="room-card"]').first().click();
    cy.get('[data-cy="guest-name"]').type('Test Student');
    cy.get('[data-cy="confirm-booking"]').click();
    cy.wait('@booking')
      .its('response.statusCode')
      .should('eq', 201);
    cy.get('[data-cy="booking-id"]').should('be.visible');
  });
});
```

The scenario combines user actions, waiting for a network response, and verification of the final system state. The use of cy.intercept makes it possible to synchronize the test with a specific HTTP event instead of using static commands such as cy.wait(5000). The test continues after the request has been completed rather than after an arbitrary period of time. Automatic retrying of commands and assertions is an important feature of Cypress. Before performing an action, the tool checks whether the element exists in the DOM, is visible and available for interaction, and is not covered by another element [3]. This makes the automated scenario more consistent with the actual conditions of user interaction with the interface.

The positive path should be supplemented with verification of the system's response to a failure. Using cy.intercept, it is possible to simulate a server response with status code 500 and verify that the web application displays a clear message, does not create a duplicate booking, and preserves the data entered by the user. The purpose of such a test is not only to record the error status code but also to assess whether the user can safely repeat the operation. For methodological assessment, a risk-oriented indicator of the completeness of critical user path verification is proposed:

$$K_{CUP} = (SUM(w_i \times q_i) / SUM(w_i)) \times 100\%, \quad (1)$$

where K_{CUP} is the indicator of critical path verification completeness; w_i is the weight coefficient of a checkpoint; and q_i is an indicator of its verification, which equals 1 when a clear assertion is present and 0 when it is absent. The weight coefficient may take values from 1 to 3. A value of 3 is assigned to checkpoints whose failure blocks the operation or creates a risk of data loss. A value of 2 corresponds to important intermediate states, while a value of 1 is assigned to supporting interface checks. For the booking process, the highest weights should be assigned to the successful completion of the booking creation request, the display of the booking identifier, and the correct response to repeated form submission.

The indicator directs the student's attention away from the number of Cypress commands and towards the completeness of the verified business states. A scenario may contain numerous clicks and data-entry actions but remain incomplete if it does not verify the network response and the final result. The practical result of the work is the booking-flow.cy.ts file, which reproduces the path from searching for a room to confirming the booking. The student's report includes a diagram of the path, a list of checkpoints, the test code, the execution result, and an explanation of the identified risks [2]. When the scenario fails, the student must determine the level at which the problem occurred: the interface, data transmission, API response, or result display.

The educational value of the approach lies in combining requirements analysis, test design, HTTP fundamentals, DOM interaction, and programming in JavaScript or TypeScript. The transition from manual verification to the programmable control of integrated scenarios reflects the transformation of the QA specialist's role towards SDET [6]. At the same time, Cypress does not replace unit or API testing. The verification of local algorithms, boundary values, and numerous data combinations should remain at the lower testing levels. The E2E level should be used for a limited number of critical scenarios that confirm the integrity of the software product.

Conclusions. Cypress is an appropriate tool for the automated verification of the critical user path in the Simple Booking System educational web application. Its use makes it possible to combine user actions, interface state verification, HTTP interaction control, and confirmation of the final business result within a single executable scenario. For the booking process, a sequence has been defined from searching for an available offer to displaying the identifier of the created operation. Three levels of checkpoints have been proposed: the interface, network, and business levels. The use of data-cy, automatic waiting, and cy.intercept improves the reproducibility and meaningfulness of the scenario.

Verification of a negative server response demonstrates that the critical path should cover not only the successful completion of an operation but also the web application's response to failure. The proposed K_CUP indicator makes it possible to assess the completeness of the scenario while considering the risk-based weights of its checkpoints. The educational value of the methodology lies in developing systems thinking, requirements analysis skills, test programming abilities, and the diagnosis of failures in end-to-end business scenarios. The results can serve as a foundation for the further study of the Page Object Model, test data management, and the integration of Cypress into continuous quality control processes.

References

1. Kalashnyk, V. Yu. (2026). Tekhnolohii testuvannia prohramnoho zabezpechennia: Konspekt lektsii dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity spetsialnosti F3 "Kompiuterni nauky" [Software Testing Technologies: Lecture notes for higher education students majoring in F3 "Computer Science"]. Kyiv National University of Technologies and Design.
2. Kalashnyk, V. Yu. (2026). Tekhnolohii testuvannia prohramnoho zabezpechennia: Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit [Software Testing Technologies: Guidelines for laboratory works]. Kyiv National University of Technologies and Design.
3. Cypress.io. (n.d.). Cypress documentation. https://docs.cypress.io/
4. Mwaura, W. (2021). End-to-end web testing with Cypress: Explore techniques for automated frontend web testing with Cypress and JavaScript. Packt Publishing. ISBN: 978-1839213854.
5. Gregory, J., & Crispin, L. (2019). Agile testing condensed: A brief introduction. Leanpub. ISBN: 978-1-9992205-0-1.
6. Kalashnyk, V. Yu., & Kolysko, O. Z. (2025). Transformatsiia roli QA-fakhivtsia: Avtomatyzatsiia intehratsiinoho testuvannia u Docker-seredovyshchi [Transformation of the QA specialist's role: Automation of integration testing in a Docker environment]. In The impact of modern digital technologies on the future of professions: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference. ISBN: 979-8-90070-290-2.
7. ISO/IEC/IEEE 29119-1:2013. (2013). Software and systems engineering — Software testing — Part 1: Concepts and definitions. International Organization for Standardization.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.006.109-128

ЕВОЛЮЦІЯ ТЕКСТОВИХ МОДЕЛЕЙ: РЕКУРЕНТНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В КОНТЕКСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Почанський Олег
к.т.н.
Кафедра кібербезпеки та інформаційних технологій
Харківський національний економічний університет
імені С. Кузнеця, Україна

Анотація

У статті проведено комплексний аналіз методів автоматичної генерації тексту за допомогою рекурентних нейронних мереж (RNN) та моделей довгої короткочасної пам'яті (LSTM), а також досліджено сучасні інтелектуальні й інфраструктурні технології протидії спаму. Розглянуто структурні особливості LSTM-мереж та їхню здатність моделювати довгострокові контекстні залежності при створенні текстів. Систематизовано актуальні категорії спаму та здійснено порівняльний аналіз технічних засобів захисту електронної пошти, зокрема криптографічних протоколів автентифікації відправників SPF, DKIM, DMARC та методу сірого списку (greylisting). Обґрунтовано математичний підхід до застосування наївного байєсівського класифікатора для контентної фільтрації повідомлень. Результати роботи мають практичне значення для проектування комбінованих систем кібербезпеки та захисту інформаційних комунікацій від автоматизованого спаму і фішингу.

Ключові слова: автоматична генерація тексту, рекурентні нейронні мережі (RNN), LSTM, класифікація спаму, інформаційна безпека, SPF, DKIM, DMARC, наївний байєсівський класифікатор.

1 Вступ

Обґрунтування актуальності теми. Сучасний етап розвитку глобального інформаційного простору характеризується стрімким збільшенням обсягів текстових даних, що циркулюють у системах електронних комунікацій. Автоматизація процесів обробки природної мови (NLP) та вдосконалення моделей штучного інтелекту відкрили нові можливості для автоматичної генерації текстів. Проте, поряд із корисними сферами застосування, технології автоматичного синтезу тексту все частіше використовуються зловмисниками для створення високореалістичного, унікального та масового небажаного контенту (спаму), фішингових повідомлень та засобів соціальної інженерії.

Електронна пошта залишається одним із ключових каналів ділової та особистої комунікації, але водночас є головним вектором кібератак. Традиційні методи фільтрації, що базуються на простих сигнатурах або статичних правилах,

виявляються неефективними проти динамічно генерованого спаму. Це зумовлює гостру потребу в детальному дослідженні як самих методів автоматичної генерації тексту (зокрема, на основі нейромережевих архітектур), так і комплексних, інтелектуальних засобів протидії кіберзагрозам у поштових системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання моделювання послідовностей даних та аналізу природної мови висвітлені у фундаментальних працях багатьох дослідників у галузі машинного навчання. Значний внесок у розвиток рекурентних нейронних мереж (RNN) та розв'язання проблеми затухання градієнтів за допомогою архітектури довгої короткочасної пам’яті (LSTM) зробили С. Хохрайтер (S. Hochreiter) та Ю. Шмідхубер (J. Schmidhuber). Проблематика верифікації відправників електронної пошти та стандартизації криптографічних протоколів безпеки (SPF, DKIM, DMARC) детально описана у специфікаціях RFC та дослідженнях фахівців з інформаційної безпеки, таких як М. Кучерава (M. Kucherawy) та Т. Зінк (T. Zink). Водночас статистичні підходи до контентної фільтрації на основі Наївного байєсівського класифікатора залишаються класичним та ефективним базисом для сучасних антиспам-систем. Проте швидка еволюція методів штучної генерації тексту вимагає постійного переосмислення та інтеграції цих підходів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри наявність значної кількості досліджень, присвячених окремо нейромережевим моделям мови та окремо засобам поштової безпеки, існує потреба в комплексному аналізі взаємозв'язку між методами автоматичного створення контенту та механізмами його виявлення. Зокрема, недостатньо систематизовано порівняльний аналіз технічних рівнів захисту (інфраструктурних протоколів автентифікації) та інтелектуальних рівнів (контентного аналізу за допомогою статистичних методів) в умовах протидії автоматизованому спаму.

2 Мета та задачі дослідження

Метою роботи є систематизація та комплексне теоретичне дослідження методів автоматичної генерації тексту на основі рекурентних нейронних мереж (RNN та LSTM), аналіз сучасних загрозоутворюючих категорій спаму, а також оцінка ефективності інфраструктурних (SPF, DKIM, DMARC) та інтелектуальних (байєсівська фільтрація) методів захисту інформаційних систем від небажаної кореспонденції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

розглянути математичні та структурні особливості функціонування базових рекурентних нейронних мереж та моделей LSTM;

проаналізувати основні категорії та технічні аспекти поширення сучасного спаму (фішинг, підробка пошти, масові розсилки);

дослідити специфіку роботи та порівняти ефективність криптографічних протоколів автентифікації джерел повідомлень;

обґрунтувати математичний підхід до використання наївного байєсівського класифікатора для контентного аналізу електронних листів.

Методологічну основу дослідження становлять методи штучного інтелекту, теорія нейронних мереж, теорія ймовірностей та математична статистика, а також системний аналіз у сфері кібербезпеки та захисту інформації.

3 Результати дослідження та обговорення

3.1 Рекурентна нейронна мережа

Рекурентна нейронна мережа (RNN) – це тип нейронних мереж із петлями, які дозволяють зберігати інформацію (рис. 1).

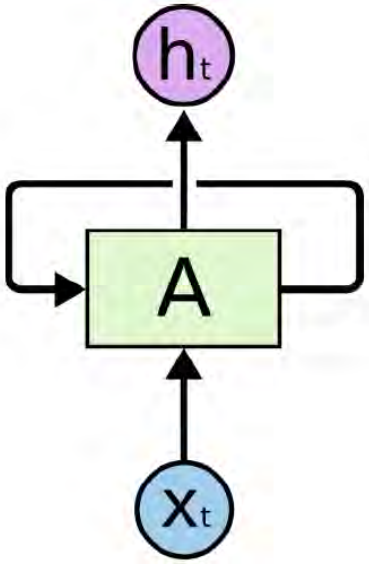


Рисунок 1. Базова структура циклу в рекурентної нейронної мережі [1]

На рис. 1 центральний квадрат представляє нейронну мережу, яка приймає на вхід x_t на поточному зрізі часу t і надає значення h_t як вихід. Цей цикл дає змогу надсилати інформацію від одного кроку мережі до наступного.

Наявність циклічних зв'язків є характерною особливістю рекурентних нейронних мереж і забезпечує можливість врахування інформації з попередніх кроків обробки даних. Незважаючи на складність такої архітектури, рекурентну нейронну мережу можна інтерпретувати як послідовність однакових нейронних блоків, які мають спільні параметри та передають інформацію між сусідніми часовими кроками. У процесі розгортання рекурентної мережі в часі її структура подається у вигляді ланцюжка взаємопов'язаних копій одного й того самого обчислювального модуля, що дозволяє наочно відобразити механізм передачі інформації та залежностей між послідовними елементами вхідних даних (рис. 2).

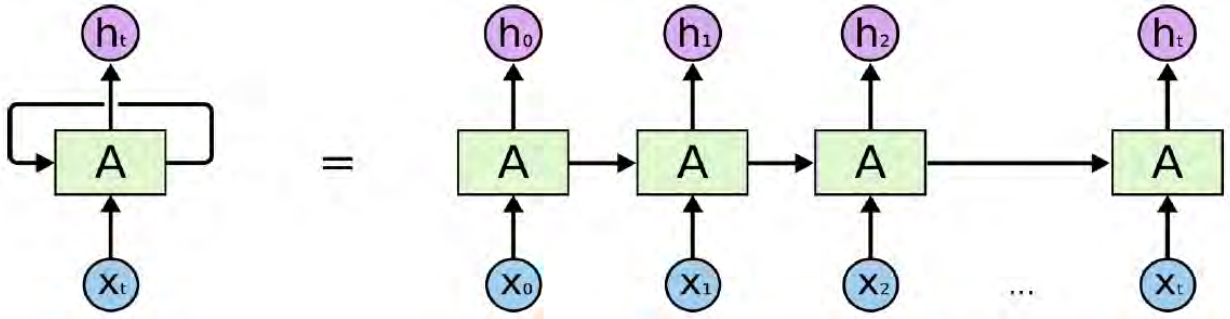


Рисунок 2. Розгорнута рекурентна нейронна мережа [1]

Розгорнута структура рекурентної нейронної мережі демонструє її природну орієнтованість на обробку послідовних даних. Завдяки механізму передачі інформації між часовими кроками такі мережі здатні враховувати контекст попередніх елементів послідовності, що робить їх ефективним інструментом для аналізу текстів, часових рядів та інших впорядкованих наборів даних.

Протягом останніх років рекурентні нейронні мережі успішно застосовуються для розв'язання широкого спектра завдань, серед яких розпізнавання мовлення, моделювання природної мови, машинний переклад, аналіз текстової інформації та прогнозування послідовностей. Значний внесок у підвищення ефективності цих систем зробила поява архітектури Long Short-Term Memory (LSTM), яка є спеціалізованим різновидом рекурентних нейронних мереж.

На відміну від класичних RNN, мережі LSTM здатні ефективніше зберігати та використовувати інформацію про довгострокові залежності в даних завдяки наявності механізму керування пам'яттю. Це дозволяє уникати проблеми зникнення градієнта та суттєво покращує якість навчання на довгих послідовностях. Саме тому більшість сучасних рішень, що базуються на рекурентних нейронних мережах і демонструють високі результати в задачах обробки природної мови, використовують архітектуру LSTM як основний інструмент моделювання послідовних даних.

3.2 LSTM мережа

Мережі довгої короткочасної пам'яті (Long Short-Term Memory, LSTM) є спеціалізованим різновидом рекурентних нейронних мереж, призначеним для моделювання та аналізу довгострокових залежностей у послідовних даних. Завдяки своїй архітектурі вони здатні ефективно зберігати та використовувати інформацію протягом тривалих часових інтервалів, що робить їх придатними для розв'язання широкого спектра завдань, пов'язаних з обробкою природної мови, розпізнаванням мовлення, машинним перекладом та аналізом текстової інформації.

Архітектура LSTM була розроблена для подолання обмежень класичних рекурентних нейронних мереж, зокрема проблеми зникнення та вибуху градієнтів під час навчання. На відміну від традиційних RNN, мережі LSTM містять спеціальні механізми пам'яті та керування потоками інформації, що дозволяє зберігати важливі дані протягом тривалого часу та відкидати несуттєву інформацію.

Як і всі рекурентні нейронні мережі, LSTM можуть бути представлені у вигляді послідовності взаємопов'язаних повторюваних модулів (рис. 3). Однак якщо у класичних RNN кожен модуль зазвичай складається з одного нейронного шару з функцією активації, наприклад гіперболічним тангенсом, то в архітектурі LSTM повторюваний модуль має значно складнішу структуру. Він містить комірку пам'яті та набір керуючих механізмів (вхідні, вихідні та забувальні ворота), які забезпечують ефективне збереження, оновлення та передачу інформації між часовими кроками.

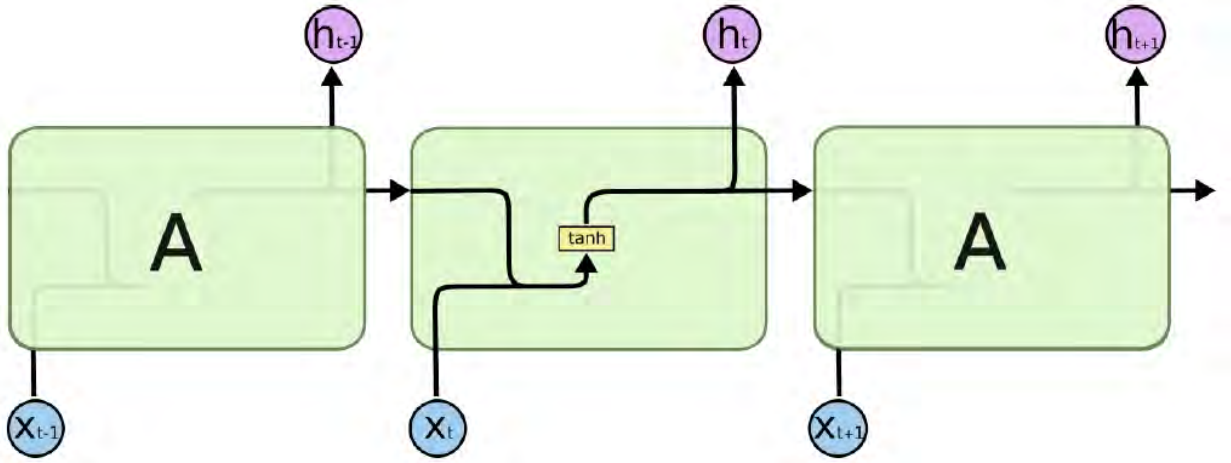


Рисунок 3. Повторюваний модуль у стандартній RNN містить один шар [1]

Мережі LSTM, подібно до інших рекурентних нейронних мереж, мають послідовну ланцюгову структуру, у якій інформація передається між послідовними часовими кроками. Проте на відміну від класичних рекурентних мереж, де повторюваний модуль зазвичай представлений одним нейронним шаром, архітектура LSTM характеризується значно складнішою внутрішньою будовою (рис. 4). Кожен повторюваний модуль LSTM складається з декількох взаємопов'язаних обчислювальних компонентів, які спільно забезпечують керування процесами збереження, оновлення та передавання інформації. Зокрема, структура модуля включає комірку пам'яті та систему спеціальних керуючих воріт, що дозволяють вибірково зберігати важливі дані, відкидати неактуальну інформацію та формувати вихідний сигнал. Така організація забезпечує ефективне моделювання довгострокових залежностей і підвищує якість обробки послідовних даних порівняно з традиційними рекурентними нейронними мережами.

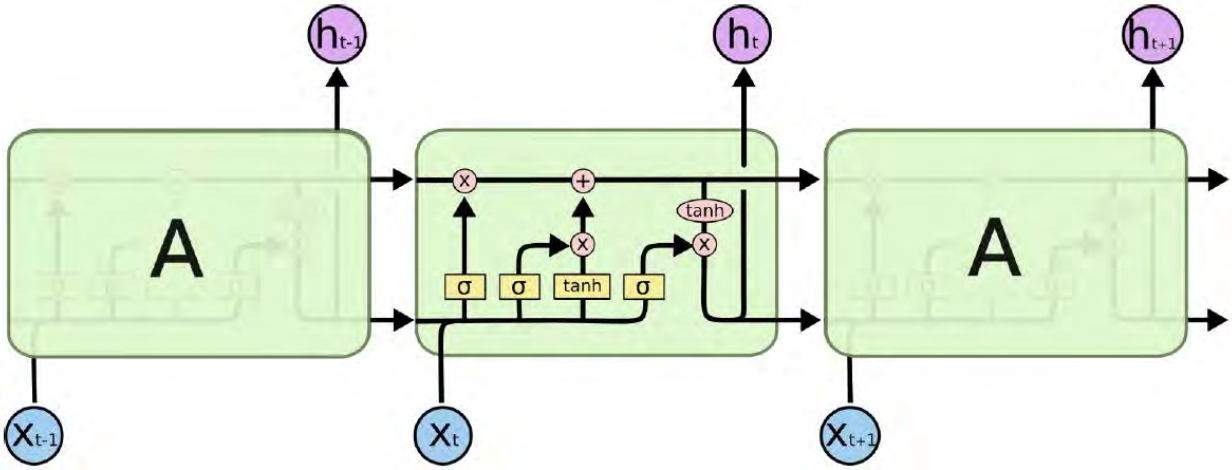


Рисунок 4. LSTM з чотирма взаємодіючими шарами [1]

На рис. 4 представлено архітектуру мережі LSTM у вигляді послідовності взаємопов'язаних модулів, між якими передаються вектори даних. Інформаційні потоки відображаються лініями, що з'єднують виходи одного модуля з входами наступних. На схемі окремі обчислювальні операції позначені круглими

елементами, тоді як прямокутні блоки відповідають шарам нейронної мережі. Операції об'єднання даних відображаються точками злиття потоків, а розгалуження ліній вказують на копіювання та передачу інформації до кількох компонентів моделі одночасно.

Центральним елементом архітектури LSTM є стан комірки пам'яті (cell state), який проходить через усю мережу вздовж її часової осі. Стан комірки виконує роль каналу довготривалого зберігання інформації та забезпечує передавання важливих даних між послідовними часовими кроками (рис. 5). Завдяки переважно лінійному характеру поширення інформації через цей канал втрати корисних даних мінімізуються, що дозволяє мережі ефективно зберігати відомості про попередні події протягом тривалих інтервалів часу. Саме ця особливість забезпечує здатність LSTM моделювати довгострокові залежності в послідовних даних та підвищує ефективність навчання порівняно з класичними рекурентними нейронними мережами.

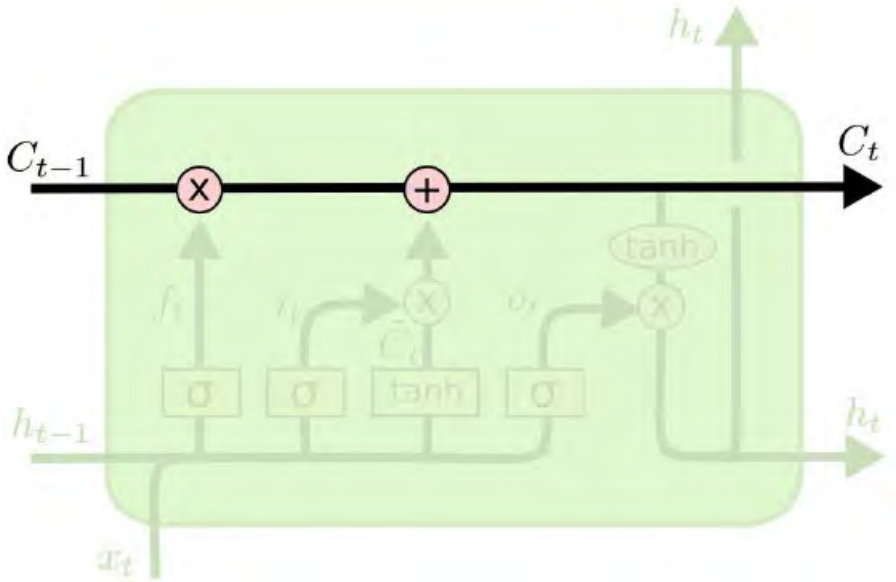


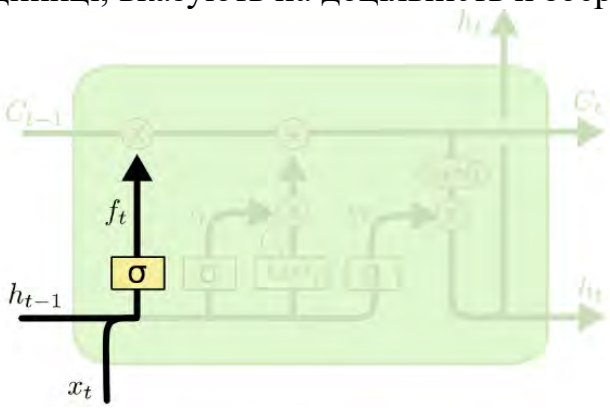
Рисунок 5. Стан комірки [1]

Однією з ключових переваг архітектури LSTM є наявність механізму керування інформацією, що зберігається в комірці пам'яті. На відміну від класичних рекурентних нейронних мереж, LSTM здатна не лише накопичувати інформацію, а й вибірково оновлювати або видаляти її залежно від поточного контексту. Цей процес реалізується за допомогою спеціальних структур, які називаються воротами (gates).

Ворота виконують функцію контролю потоків інформації всередині мережі. Вони складаються із сигмоїдного шару та операцій поелементного множення. Сигмоїдна функція активації формує значення в діапазоні від 0 до 1 для кожного елемента вхідного вектора. Отримані значення визначають ступінь пропускання інформації через відповідний вузол: значення, близькі до 0, практично блокують передачу даних, тоді як значення, близькі до 1, забезпечують їх повне збереження та подальше використання.

Архітектура LSTM включає три основні типи воріт: ворота забування (forget gate), вхідні ворота (input gate) та вихідні ворота (output gate). Їх спільна робота забезпечує ефективне керування станом комірки пам'яті та дозволяє мережі адаптивно реагувати на зміни в послідовності даних.

Першим етапом обробки інформації є визначення того, які дані зі стану комірки пам'яті необхідно зберегти, а які слід видалити (рис. 6). Для цього використовується механізм воріт забування. Ворота забування аналізують прихований стан попереднього кроку (h_{t-1}) та поточний вхідний вектор (x_t), після чого формують вектор коефіцієнтів у діапазоні від 0 до 1 для кожного елемента попереднього стану комірки (C_{t-1}). Значення, близькі до нуля, означають необхідність видалення відповідної інформації, тоді як значення, близькі до одиниці, вказують на доцільність її збереження для подальшої обробки.



$$f_t = \sigma\left(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] \; + \; b_f\right)$$

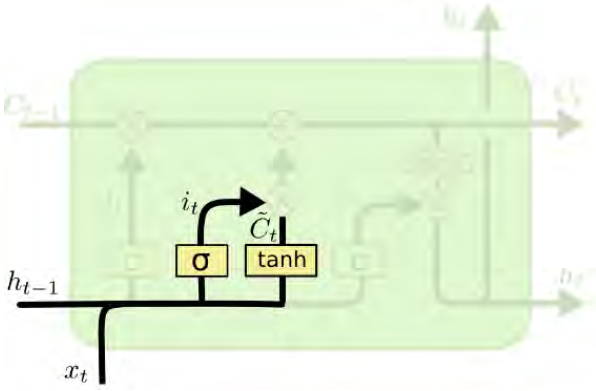
Рисунок 6. Крок перший LSTM моделі [1]

Після виконання операції забування наступним етапом є визначення інформації, яка має бути додана до стану комірки пам'яті. Цей процес реалізується у два послідовні кроки.

Спочатку вхідні ворота (input gate), що реалізуються за допомогою сигмоїдного шару, аналізують поточний вхідний вектор (x_t) та прихований стан попереднього кроку (h_{t-1}). На основі цього аналізу формується вектор коефіцієнтів, який визначає, які компоненти стану комірки підлягають оновленню та з якою інтенсивністю.

Паралельно з роботою вхідних воріт шар з функцією активації гіперболічного тангенса генерує вектор нових кандидатних значень ($\tilde{C}_t$), що містить потенційну інформацію для додавання до комірки пам'яті. Ці значення відображають нові знання, отримані з поточних вхідних даних, та можуть бути використані для оновлення внутрішнього стану мережі.

На наступному етапі результати роботи вхідних воріт та вектор кандидатних значень об'єднуються, що дозволяє сформувати оновлений стан комірки пам'яті. Такий механізм забезпечує контрольоване внесення нової інформації та підтримує здатність мережі ефективно накопичувати знання про довгострокові залежності в послідовних даних (рис. 7).



$$i_t = \sigma\left(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] \; + \; b_i\right)$$

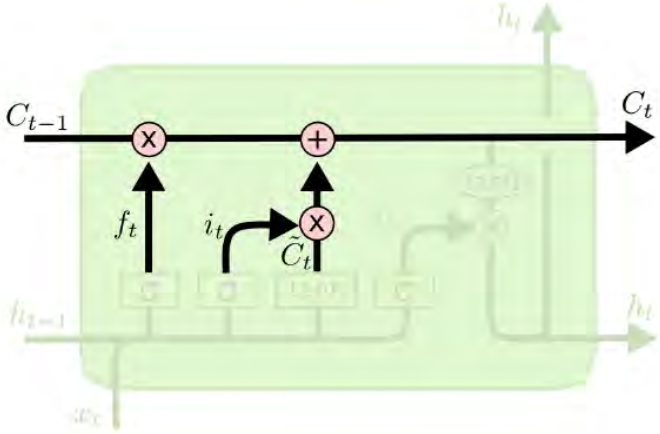
$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] \; + \; b_C)$$

Рисунок 7. Крок другий LSTM моделі [1]

Після визначення інформації, яку необхідно зберегти, видалити або додати, виконується оновлення стану комірки пам'яті. На цьому етапі попередній стан комірки (C_{t-1}) перетворюється на новий стан (C_t) відповідно до рішень, прийнятих механізмами воріт забування та вхідних воріт.

Спочатку попередній стан комірки множиться на вектор виходу воріт забування (f_t). У результаті цього кроку зберігається лише та інформація, яка була визнана важливою для подальшої обробки, тоді як несуттєві або застарілі дані поступово усуваються. Далі до отриманого результату додається добуток вектора вхідних воріт (i_t) та вектора кандидатних значень ($\tilde{C}_t$). Таким чином, нова інформація включається до стану комірки лише в тих компонентах, для яких вхідні ворота дозволили оновлення.

Завдяки такому механізму мережа LSTM здатна одночасно підтримувати важливу історичну інформацію та інтегрувати нові знання, що забезпечує ефективне моделювання довгострокових залежностей у послідовних даних (рис. 8).



$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t$$

Рисунок 8. Третій крок LSTM моделі [1]

3.3 Теоретичні основи спаму та його класифікація

Спамом називають масове розповсюдження небажаних електронних повідомлень за допомогою засобів електронного зв'язку без попередньої згоди або запиту з боку одержувачів. Найчастіше спам поширюється через електронну пошту, однак для його розсилання можуть використовуватися й інші

комунікаційні платформи, зокрема месенджери, соціальні мережі та SMS-повідомлення. Основною метою спаму є донесення певної інформації до максимально широкої аудиторії незалежно від зацікавленості користувачів у її отриманні.

У сфері електронної пошти поняття спаму зазвичай пов'язують із двома категоріями повідомлень: небажаною комерційною електронною поштою (Unsolicited Commercial E-mail, UCE) та небажаною масовою електронною поштою (Unsolicited Bulk E-mail, UBE). Такі повідомлення можуть містити рекламні матеріали, пропозиції сумнівних послуг, фішингові посилання, шкідливі вкладення або інші елементи, що становлять загрозу для інформаційної безпеки користувачів.

Електронні повідомлення, які належать до категорії спаму, зазвичай характеризуються такими ознаками [2]:

1. Відправляються без попереднього запиту або згоди одержувача.
2. Мають рекламний, комерційний або інший нав'язливий характер.
3. Розповсюджуються одночасно великій кількості адресатів із використанням автоматизованих засобів розсилання.

Наявність зазначених характеристик дозволяє розглядати спам як одну з актуальних проблем сучасних інформаційно-комунікаційних систем, що негативно впливає на ефективність роботи поштових сервісів, збільшує навантаження на мережеву інфраструктуру та створює додаткові ризики для інформаційної безпеки.

Спам становить серйозну проблему для сучасних систем електронної пошти, оскільки призводить до неефективного використання обчислювальних та мережевих ресурсів. Масове надходження небажаних повідомлень збільшує навантаження на поштові сервери, займає дисковий простір для зберігання кореспонденції та ускладнює обробку легітимних повідомлень. Крім того, користувачі змушені витрачати додатковий час на перегляд, сортування та видалення небажаних листів, що негативно впливає на продуктивність їхньої роботи.

Переважна більшість спам-повідомлень орієнтована на конкретних користувачів і розповсюджується за допомогою автоматизованих систем масової розсилки. Для формування баз адрес одержувачів спамери використовують різноманітні методи збору інформації. Зокрема, адреси електронної пошти можуть отримуватися шляхом автоматизованого сканування вебсайтів, форумів, груп новин та інших відкритих джерел мережі Інтернет. Також поширеними є випадки використання викрадених або незаконно отриманих списків розсилки, а також спеціалізованих програмних засобів для пошуку адрес електронної пошти на вебресурсах.

Унаслідок таких дій кількість небажаних повідомлень постійно зростає, що створює додаткові ризики для інформаційної безпеки користувачів та організацій. Саме тому розроблення ефективних механізмів автоматичного

виявлення та фільтрації спаму є одним із важливих напрямів розвитку сучасних систем захисту електронної пошти.

Спам-повідомлення можуть мати різне призначення та використовувати різноманітні методи впливу на користувачів. Залежно від змісту та способу реалізації кіберзагроз доцільно виділити декілька основних категорій спаму:

1. Небажані рекламні повідомлення. Найпоширенішим видом спаму є масові рекламні розсилки, які використовуються для просування товарів, послуг або інформаційних ресурсів. Такі повідомлення часто містять пропозиції щодо придбання медичних препаратів, фінансових послуг, освітніх курсів, програмного забезпечення або інших комерційних продуктів. Основною метою подібних розсилок є привернення уваги потенційних клієнтів шляхом масового поширення рекламного контенту [11].

2. Фішинговий спам. Одним із найнебезпечніших різновидів спаму є фішингові повідомлення, спрямовані на отримання конфіденційної інформації користувачів [3]. Такі електронні листи зазвичай маскуються під офіційні повідомлення банків, платіжних систем, державних установ або популярних інтернет-сервісів [4]. У тексті повідомлення користувача спонукають перейти за посиланням та ввести облікові дані, реквізити платіжних карток або іншу персональну інформацію. Отримані відомості надалі можуть використовуватися для несанкціонованого доступу до облікових записів або фінансових ресурсів жертви.

3. Шахрайські повідомлення типу «Нігерійський лист». Даний вид спаму належить до категорії соціальної інженерії та базується на маніпулюванні довірою користувачів. У таких повідомленнях зловмисники повідомляють про можливість отримання значної грошової винагороди або участі у фінансовій операції за умови попередньої сплати певної суми коштів. Як правило, після встановлення контакту жертву поступово переконують здійснювати додаткові платежі під різними приводами, що зрештою призводить до фінансових втрат.

4. Підробка електронної пошти (E-mail Spoofing) [5]. Цей метод полягає у фальсифікації адреси відправника з метою створення враження, що повідомлення надійшло від надійного джерела. Зловмисники можуть видавати себе за представників відомих компаній, державних органів або фінансових установ для підвищення рівня довіри користувача до отриманого листа. Відсутність у базовому протоколі SMTP вбудованих механізмів автентифікації сприяє використанню такого способу атак. Для протидії підробці відправника застосовуються технології SPF [6], DKIM [7] та DMARC [8].

5. Шкідливі вкладення та троянські програми. Значна частина спам-повідомлень використовується для поширення шкідливого програмного забезпечення. Такі листи можуть містити заражені вкладення або посилання на ресурси, з яких завантажується шкідливий код. Після відкриття файлу або переходу за посиланням на пристрій користувача можуть бути встановлені троянські програми, шпигунське програмне забезпечення або інші види шкідливих компонентів [3, 9].

6. Комерційні інформаційні розсилки. До цієї категорії належать повідомлення, які надсилаються легальними компаніями та сервісами з рекламною або інформаційною метою. Хоча такі розсилки зазвичай не містять шкідливого вмісту, вони можуть сприйматися користувачами як небажані у випадках автоматичного додавання до списків розсилки під час реєстрації на вебресурсах.

7. Фальшиві антивірусні повідомлення. Цей тип спаму ґрунтується на психологічному впливі та використанні страху користувача перед можливим зараженням комп'ютера. У листах повідомляється про нібито виявлені віруси або критичні загрози безпеці. Користувачеві пропонується встановити спеціальне програмне забезпечення для усунення проблеми, яке насправді може містити шкідливий код або використовуватися для викрадення даних [9].

8. Політичний та ідеологічний спам. Окрему категорію становлять повідомлення політичного, пропагандистського або екстремістського характеру. Вони можуть використовуватися для поширення дезінформації, маніпулювання громадською думкою або збору персональних даних користувачів під виглядом участі в опитуваннях, громадських кампаніях чи благодійних проєктах [9].

Різноманітність видів спаму свідчить про необхідність застосування сучасних автоматизованих методів його виявлення. Особливої актуальності набувають системи фільтрації на основі методів машинного навчання та байєсовських класифікаторів, які дозволяють аналізувати зміст повідомлень і ефективно розпізнавати різні категорії небажаної кореспонденції.

3.4 Методи протидії спаму

Sender Policy Framework (SPF) – це технічний метод для запобігання підробці адреси відправника електронного листа. Він виник як метод блокування спаму. Незважаючи на те, що SPF існує з 2006 року, він став запропонованим стандартом у 2014 році після публікацій RFC 7208 [6] та RFC 7372 [12]. Для цього системний адміністратор домену повинен налаштувати запис SPF. Це список уповноважених хостів, яким дозволено використовувати своє доменне ім'я в системі доменних імен (DNS). Приклад роботи SPF можна побачити на рис. 9:

1 Починається з того що відправник намагається надіслати електронне повідомлення одержувачу.

2 Вхідний поштовий сервер отримує електронне повідомлення та отримує ім'я домену, з якого воно було надіслане.

3 Тепер сервер вхідної пошти використовує цю інформацію для пошуку DNS для перевірки, чи є запис SPF для цього домену. Якщо IP-адреса, що надсилається в електронному листі, відповідає будь-якій із вихідних адрес, включених до запису SPF, електронна пошта аутентифікується та доставляється. Якщо збіг адреси неможливий, автентифікація не вдається.

4 Коли автентифікація електронної пошти або автентифікація не вдалася, сервер вхідної пошти може обробляти електронну пошту, виходячи з конкретних правил цієї електронної системи та домену [14]. Значення буде додано до заголовка повідомлення електронної пошти Received-SPF на основі перевірки

SPF і якщо воно пройде чи ні. Це значення може бути прийнять, відхилити, м'яке відхилення(буде прийнято, але позначено як спам), нейтральне ставлення, відкинути повідомлення, помилка або тимчасова помилка, які вказані та пояснено у RFC 7208 [6]. Це можливі результати пошуку DNS та перевірки записів SPF або запиту SPF. Однак від вхідного сервера електронної пошти залежить, які дії слід вжити за результатами оцінки. Наприклад, набір правил може передбачати блокування всієї електронної пошти, яка не передає SPF, але доставляти електронну пошту, яка передає SPF, у поштові скриньки кінцевих користувачів.

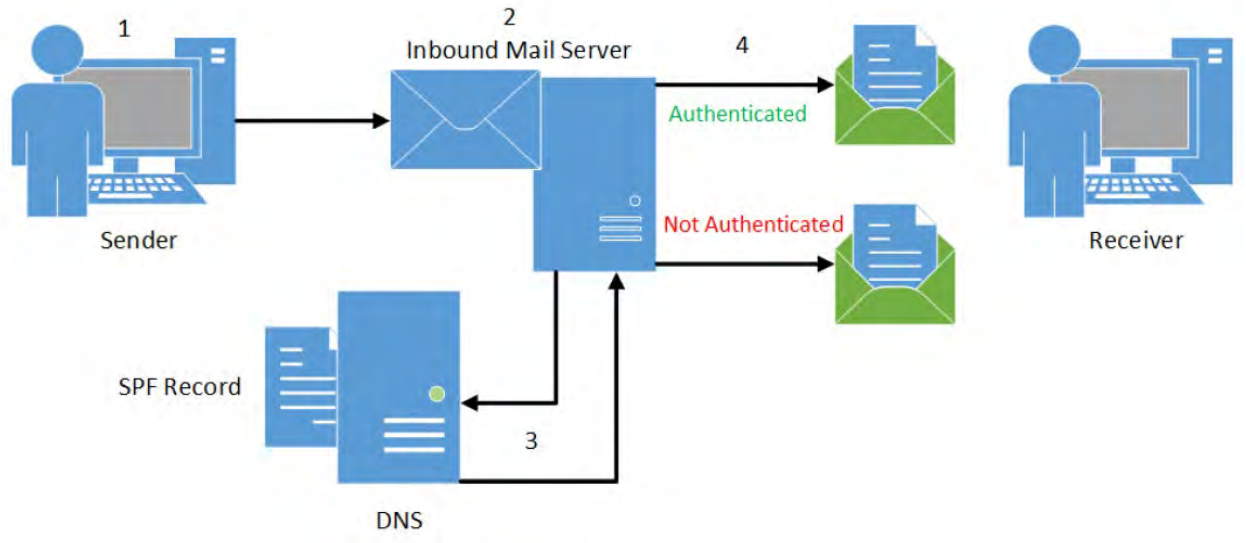


Рисунок 9. Схема роботи SPF [13]

Незважаючи на високу ефективність механізму SPF (Sender Policy Framework) у боротьбі з підробкою адрес відправника, цей підхід має низку обмежень. Однією з проблем є можливість використання зловмисниками власних доменів із коректно налаштованими SPF-записами. У деяких випадках такі домени можуть бути навмисно схожими на домени відомих організацій або сервісів. Оскільки перевірка SPF підтверджує лише право сервера надсилати повідомлення від імені певного домену, а не достовірність самого доменного імені, подібні повідомлення можуть успішно проходити перевірку та потрапляти до папки вхідної пошти користувача.

Таким чином, SPF не є універсальним засобом захисту від спаму та фішингових атак. Його використання дозволяє ускладнити процес підробки електронних адрес і підвищити вартість реалізації таких атак для зловмисників, однак не усуває проблему повністю [15]. Ефективність SPF значною мірою залежить від правильності його налаштування та використання в поєднанні з іншими механізмами автентифікації електронної пошти [16].

Робота SPF безпосередньо пов’язана з функціонуванням системи доменних імен (DNS), оскільки інформація про дозволені сервери відправлення зберігається у вигляді спеціальних DNS-записів. Під час отримання повідомлення поштовий сервер виконує перевірку домену відправника та

аналізує відповідний SPF-запис. У разі недоступності DNS-сервісу або виникнення помилок під час отримання запису процедура перевірки SPF може завершитися невдало або повернути тимчасову помилку, що негативно впливає на процес доставки електронної пошти.

Додатковою проблемою є пересилання електронних повідомлень між поштовими серверами. У таких випадках повідомлення може надсилатися з сервера, який не зазначений у SPF-записі початкового домену, що призводить до помилкового спрацьовування механізму перевірки. Внаслідок цього легітимні повідомлення можуть бути позначені як підозрілі або навіть відхилені приймаючим сервером.

На сьогодні SPF широко використовується як один із базових механізмів автентифікації електронної пошти та захисту від підробки адрес відправника. Його застосування дозволяє організаціям підтверджувати перелік серверів, уповноважених надсилати повідомлення від імені їхніх доменів. У разі виявлення невідповідності між адресою відправника та результатами SPF-перевірки поштові клієнти можуть відображати користувачеві попередження про можливу підробку повідомлення або потенційну шахрайську активність [17].

Водночас надмірно суворе застосування політик SPF на стороні одержувача може спричиняти блокування або помилкове маркування легітимних повідомлень. Саме тому на практиці SPF зазвичай використовується разом із додатковими технологіями захисту, такими як DKIM (DomainKeys Identified Mail) та DMARC (Domain-based Message Authentication, Reporting and Conformance), що забезпечують більш надійну автентифікацію електронної пошти та підвищують ефективність протидії спаму і фішинговим атакам.

Одним із поширених механізмів захисту від підробки електронних повідомлень є технологія DomainKeys Identified Mail (DKIM). DKIM являє собою протокол автентифікації електронної пошти, який використовує криптографію з відкритим ключем для підтвердження достовірності відправника та цілісності повідомлення.

Для функціонування DKIM адміністратор домену повинен опублікувати у системі доменних імен (DNS) спеціальні записи, що містять політику використання DKIM та відкритий ключ домену. Під час надсилання повідомлення поштовий сервер формує цифровий підпис на основі закритого ключа. Після отримання повідомлення сервер одержувача використовує відкритий ключ, опублікований у DNS, для перевірки коректності підпису. У разі успішної перевірки підтверджується, що повідомлення дійсно було надіслано від зазначеного домену та не було змінене під час передавання.

Попри високу ефективність, DKIM має певні недоліки. Зокрема, труднощі виникають під час використання списків розсилки, які можуть змінювати окремі поля заголовка або вміст повідомлення. У такому випадку цифровий підпис перестає відповідати початковому повідомленню, що призводить до помилки автентифікації. Саме складність впровадження та підтримки DKIM є однією з причин його неповного використання окремими організаціями.

Для підвищення надійності автентифікації електронної пошти був розроблений протокол Domain-based Message Authentication, Reporting and Conformance (DMARC). Він поєднує можливості SPF та DKIM і дозволяє визначати політики обробки повідомлень, що не пройшли перевірку автентичності. Крім того, DMARC забезпечує механізм формування звітів, які надсилаються власникам доменів для контролю спроб підробки електронної пошти.

Для успішного проходження перевірки DMARC повідомлення повинно пройти автентифікацію за допомогою SPF або DKIM із додатковою перевіркою відповідності домену відправника, зазначеного в полі «From». Якщо хоча б одна з перевірок завершується успішно та домени узгоджені між собою, повідомлення вважається автентичним. У протилежному випадку до нього можуть бути застосовані політики карантину або відхилення.

Однак DMARC успадковує окремі обмеження SPF та DKIM. Зокрема, можливі випадки помилкового блокування легітимних повідомлень унаслідок некоректної конфігурації системи або особливостей пересилання електронної пошти між серверами.

Поряд із механізмами автентифікації електронної пошти широко використовуються методи фільтрації повідомлень на основі правил.

Одним із найпростіших підходів є використання чорних списків (blacklists). Чорний список являє собою перелік адрес електронної пошти, IP-адрес, доменних імен або інших ознак, пов'язаних із джерелами спаму. Якщо повідомлення містить ознаку, яка входить до чорного списку, воно автоматично позначається як небажане. Чорні списки можуть підтримуватися як окремими користувачами, так і спеціалізованими організаціями, що здійснюють централізований моніторинг джерел спаму.

Протилежним підходом є використання білих списків (whitelists), які містять перелік довірених відправників. Усі повідомлення від адрес, що входять до білого списку, автоматично приймаються системою, тоді як решта можуть бути заблоковані або піддані додатковій перевірці. Недоліком такого підходу є неможливість передбачити всіх потенційних легітимних відправників, що може призводити до втрати корисної кореспонденції.

Ще одним методом є використання сірих списків (greylisting). Принцип роботи полягає в тому, що поштовий сервер тимчасово відхиляє повідомлення від невідомих відправників, повертаючи код тимчасової помилки SMTP. Легітимні поштові сервери зазвичай повторюють спробу доставки через певний проміжок часу, після чого повідомлення приймається. Багато спамерських систем не виконують повторних спроб доставки, тому значна частина спаму відсіюється на цьому етапі.

Найбільш перспективним напрямом автоматичного виявлення спаму є використання статистичних методів машинного навчання. Серед них особливе місце займає наївний байєсовський класифікатор, який завдяки високій швидкодії та точності став одним із найпоширеніших методів фільтрації електронної пошти.

Байєсовський фільтр використовує теорему Байєса для визначення ймовірності того, що повідомлення належить до категорії спаму на основі набору слів, які воно містить. Під час навчання системи формується статистика появи слів у спам-повідомленнях та легітимній кореспонденції. Для цього створюються окремі словники частот для кожного класу повідомлень.

Ймовірність того, що повідомлення є спамом за наявності певного слова, визначається за формулою:

$$P(\text{спам}|\text{слово}) = \frac{P(\text{слово}|\text{спам})P(\text{спам})}{P(\text{слово}|\text{спам})P(\text{спам}) + P(\text{не спам})P(\text{слово}|\text{не спам})}$$

де P(спам|слово) – апостеріорна ймовірність того, що повідомлення є спамом за наявності певного слова;

P(спам) – апріорна ймовірність появи спам-повідомлення;

P(не спам) – апріорна ймовірність появи легітимного повідомлення;

P(слово|спам) – ймовірність появи слова у спам-повідомленні;

P(слово|не спам) – ймовірність появи слова у легітимному повідомленні.

У процесі накопичення статистики система поступово формує модель характерних ознак спаму та звичайної кореспонденції. Завдяки цьому байєсовський класифікатор здатний автоматично адаптуватися до змін у структурі спам-повідомлень та забезпечувати високий рівень точності їх виявлення.

До основних переваг автоматичної фільтрації спаму на основі байєсовського підходу належать такі особливості:

– комплексний аналіз вмісту повідомлення. На відміну від традиційних методів, що базуються на пошуку окремих ключових слів або порівнянні з відомими сигнатурами, байєсовський фільтр аналізує повідомлення в цілому. Під час класифікації враховується сукупність текстових ознак та їх статистичні характеристики, що дозволяє більш точно визначати належність повідомлення до категорії спаму або легітимної кореспонденції.

– зниження кількості хибних спрацьовувань. Байєсовські фільтри навчаються не лише на прикладах спам-повідомлень, але й на легітимних електронних листах, характерних для конкретного користувача або організації. Завдяки цьому система формує індивідуальну модель коректної кореспонденції та значно зменшує ймовірність помилкового віднесення корисних повідомлень до категорії спаму.

– адаптивність до нових видів загроз. Однією з ключових переваг байєсовської фільтрації є здатність до безперервного навчання. У процесі експлуатації система накопичує статистику щодо нових спам-повідомлень і легітимних листів, що дозволяє оперативно адаптувати модель класифікації до змін у характері поштового трафіку та появи нових методів обходу захисних механізмів.

– висока точність класифікації. Використання імовірнісного підходу дає змогу оцінювати внесок кожної ознаки у процес прийняття рішення та визначати

підсумкову ймовірність належності повідомлення до певного класу. Це забезпечує стабільно високі показники точності навіть за умов значних обсягів вхідної кореспонденції.

– можливість персоналізації. Байєсовські фільтри можуть адаптуватися до особливостей листування окремого користувача або організації. У результаті система поступово формує власний набір статистичних закономірностей, що підвищує ефективність фільтрації порівняно з універсальними правилами та сигнатурними методами.

Таким чином, використання байєсовських методів класифікації дозволяє створити гнучку, адаптивну та ефективну систему автоматичного виявлення спаму, здатну забезпечувати високий рівень захисту електронної пошти в умовах постійної еволюції кіберзагроз.

3.5 Аналіз системи фільтрації спаму SpamAssassin

Одним із найбільш відомих і поширених програмних засобів для фільтрації небажаної електронної пошти є програмний комплекс SpamAssassin [19]. Ця система належить до класу правил-орієнтованих спам-фільтрів та використовує механізм оцінювання повідомлень на основі сукупності ознак, кожній з яких призначається певна вага.

Популярність SpamAssassin пояснюється низкою переваг:

1. Широке поширення та перевірена ефективність у реальних поштових системах.
2. Відкритий вихідний код, що забезпечує можливість модифікації та адаптації системи до потреб конкретної організації.
3. Регулярне оновлення баз правил і механізмів виявлення спаму.
4. Підтримка механізмів самонавчання та адаптації до особливостей електронного листування користувачів.

Основу роботи SpamAssassin становить бальна система оцінювання повідомлень. Під час аналізу кожен електронний лист перевіряється на відповідність набору правил, які описують характерні ознаки спаму. Кожне правило має певну вагу, що відображає ступінь його впливу на підсумкове рішення. У разі спрацювання правила до загального рейтингу повідомлення додається або віднімається відповідна кількість балів.

Наприклад, наявність у темі повідомлення типових рекламних слів, написаних великими літерами, може збільшувати підсумковий бал. Водночас ознаки, характерні для легітимної кореспонденції, можуть зменшувати загальну оцінку. Після завершення перевірки отримане значення порівнюється з порогом класифікації. Якщо сумарний бал перевищує встановлений поріг, повідомлення позначається як спам.

Особливістю SpamAssassin є велика кількість критеріїв аналізу. Під час перевірки можуть враховуватися:

- ключові слова та фрази в темі повідомлення;
- лексичні особливості тексту листа;
- структура HTML-коду;

– форматування та колір тексту;
– наявність підозрілих посилань;
– результати перевірок SPF, DKIM та DMARC;
– інформація із зовнішніх чорних списків;
– статистичні характеристики повідомлення.

Правила можуть мати різний рівень складності. Найпростіші з них перевіряють наявність окремих слів або шаблонів тексту. Більш складні правила виконують мережеві перевірки, аналізують репутацію відправника або звертаються до зовнішніх баз даних відомих джерел спаму.

Важливою перевагою SpamAssassin є його висока гнучкість. Система підтримує багаторівневе налаштування параметрів як для окремих користувачів, так і для всієї організації. Адміністратор може змінювати порогове значення класифікації, налаштовувати ваги окремих правил, створювати власні критерії виявлення спаму та підключати додаткові модулі аналізу.

Завдяки можливості тонкого налаштування SpamAssassin може адаптуватися до специфіки поштового трафіку конкретної організації. Практика експлуатації показує, що підвищення точності фільтрації часто досягається шляхом аналізу помилково класифікованих повідомлень та коригування ваг тих правил, які спричинили неправильне рішення системи.

Попри високу ефективність, правила-орієнтований підхід має певні обмеження. Зокрема, підтримка великої кількості правил потребує постійного оновлення, а спамери можуть змінювати структуру повідомлень для обходу відомих критеріїв виявлення. Саме тому сучасні системи захисту електронної пошти дедалі частіше поєднують правила-орієнтовані методи з алгоритмами машинного навчання, серед яких особливе місце займають байєсовські класифікатори. Використання статистичних моделей дозволяє автоматично адаптувати систему до нових типів спаму та підвищувати точність класифікації повідомлень.

4 Висновки

У статті проведено комплексне теоретичне та аналітичне дослідження, присвячене взаємозв'язку між технологіями автоматичного моделювання природної мови та сучасними інфраструктурними й інтелектуальними методами захисту інформаційно-комунікаційних систем від небажаної кореспонденції (спаму).

За результатами проведеної роботи сформульовано такі основні висновки:

1. Ефективність нейромережевих архітектур у генерації тексту. Досліджено структуру та принципи функціонування рекурентних нейронних мереж (RNN). Обґрунтовано, що класичні RNN мають обмеження при роботі з довгими текстовими послідовностями через проблему затухання та вибуху градієнтів. Проаналізовано архітектуру моделей довгої короткочасної пам’яті (LSTM), яка за рахунок використання спеціальних комірок пам’яті та системи воріт (забування, вхідних і вихідних) успішно вирішує цю проблему. Це дозволяє моделювати складні довгострокові контекстні залежності й автоматично

генерувати високореалістичні тексти, що, з одного боку, розвиває технології NLP, а з іншого – створює нові виклики для систем інформаційної безпеки.

2. Еволюція загрозоутворюючих факторів (спаму). Систематизовано сучасні категорії спаму, серед яких особливу загрозу становлять фішинг, підробка адрес відправників (spoofing), масові розсилки комерційного характеру та повідомлення, що містять шкідливе програмне забезпечення. Констатовано, що автоматизація створення унікального спам-контенту за допомогою штучного інтелекту вимагає відходу від застарілих сигнатурних методів фільтрації.

3. Роль інфраструктурних методів автентифікації пошти. Розглянуто комплекс криптографічних та технічних засобів захисту на рівні поштових серверів: протоколи SPF, DKIM та DMARC. Встановлено, що їхнє спільне застосування є обов'язковим першим рубежем оборони, оскільки вони дозволяють жорстко верифікувати правомірність відправника та цілісність листа, ефективно блокуючи спроби імперсоналізації та підробки доменів. Також визначено специфіку допоміжних засобів, таких як «сірі списки» (greylisting), що базуються на поведінкових особливостях спам-ботів.

4. Переваги інтелектуального аналізу вмісту (контенту). Доведено, що для протидії спам-повідомленням, які пройшли інфраструктурні фільтри, найбільш ефективним є застосування наївного байєсівського класифікатора. Математичний апарат теорії ймовірностей дозволяє динамічно оцінювати частоту появи певних слів у легітимній та шкідливій кореспонденції, забезпечуючи високу точність адаптивної фільтрації тексту навіть в умовах постійної зміни тактик зловмисників.

Практична цінність та перспективи подальших досліджень. Матеріали дослідження показують, що максимальний рівень захисту сучасних інформаційних систем від автоматизованого спаму досягається лише за умови побудови ешелонованої системи безпеки. Вона має поєднувати інфраструктурну автентифікацію (SPF/DKIM/DMARC) та глибокий інтелектуальний аналіз вмісту повідомлень на основі статистичних методів і машинного навчання. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку комбінованих алгоритмів, що інтегрують архітектури трансформерів (на кшталт BERT чи GPT) безпосередньо у контури систем фільтрації для виявлення контекстуально складного спаму в режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Understanding LSTM Networks [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://colah.github.io/posts/2015-08-UnderstandingLSTMs/
2. Rosmunie Y. B. Should we be concerned with spam emails? A look at its impacts and implications [Електронний ресурс] / Y. B. Rosmunie, H. Husnayati – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/6518877.
3. Roney A. Cyber crimes: Threats and protection [Електронний ресурс] / A. Roney, A. Al Hajj, K. Al Ruqeishi – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/5508568.

4. Dhinakaran C. "Reminder: please update your details": Phishing Trends [Електронний ресурс] / C. Dhinakaran, J. Kwang Lee. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/5383991.
5. Postel J. B. Simple mail transfer protocol [Електронний ресурс] / Jonathan B. Postel. – 1982. – Режим доступу до ресурсу: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc821.
6. Kitterman S. Sender Policy Framework (SPF) [Електронний ресурс] / S. Kitterman. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc720.
8. Crocker D. DomainKeys Identified Mail (DKIM) Signatures [Електронний ресурс] / D. Crocker, T. Hansen, M. Kucherawy. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6376.
9. Kucherawy M. Domain-based Message Authentication, Reporting, and Conformance (DMARC) [Електронний ресурс] / M. Kucherawy, E. Zwicky. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7489.
10. Artificial hygiene: a critical step towards safety from email viruses [Електронний ресурс] / A.Talukder, V. Rao, V. Kapoor, D. Sharma. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/1497801
11. imensions of Cyber Attack [Електронний ресурс] / R.A Gandhi, A. Sharma, W. Mahoney, W. Sousan. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/224223630_Dimensions_of_Cyber-Attacks_Cultural_Social_Economic_and_Political. 11. Prachi G. J. A Survey on Email Spam Types and Spam Filtering Techniques / G. J. Prachi, K. P. R. // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2014. – №2278. – С. 2. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ijert.org/research/a-survey-on-email-spam-types-and-spam-filtering-techniques-IJERTV3IS031626.pdf
12. Kucherawy M. mail Authentication Status Codes [Електронний ресурс] / M. Kucherawy. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7372.
13. Fagerland V. Automatic Analysis of Scam Emails [Електронний ресурс] / Vegard Fagerland. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2461337/17721_FULLTEXT.pdf
14. Email Authentication with Sender ID [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://adventuresinsecurity.com/blog/?p=78
15. Terry Zink. Where email authentication falls flat at stopping phishing – impersonation attacks using display tricks, 2016. URL https://blogs.msdn.microsoft.com/tzink/2016/12/06/ where-email-authentication-falls-flat-at-stopping-phishing-impersonation-attacks-using-display-tricks/.
16. Zink T. Where email authentication falls flat at stopping phishing - impersonation attacks using display tricks [Електронний ресурс] / Terry Zink. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/tzink/where-

email-authentication-falls-flat-at-stopping-phishing-impersonation-attacks-using-display-tricks.
17. What is DMARC? [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://dmarc.org/.
18. Research of a Spam Filtering Algorithm Based on Naive Bayes and AIS [Електронний ресурс] / Q.Luo, B. Liu, J. Yan, Z. He. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/5709036.
19. SpamAssassin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://spamassassin.apache.org.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.007.128-136

ENHANCING SQUEEZENET-BASED METAL DEFECT CLASSIFICATION UNDER DATA SCARCITY VIA DCGAN-DRIVEN SYNTHESIS

Vasko Artem
postgraduate student
Computer Science Department
Olesya Honchara Dnipro National University, Ukraine

Abstract. Automated visual inspection of metal surfaces relies on convolutional neural networks that require large labelled datasets, yet in real manufacturing lines defect images are scarce and unevenly distributed across classes. This study investigates whether synthetic samples produced by a Deep Convolutional Generative Adversarial Network (DCGAN) can compensate for data scarcity when training a lightweight SqueezeNet classifier. Class-specific DCGANs were trained on limited real images from the NEU surface-defect benchmark and used to expand the training pool before SqueezeNet fine-tuning. Across four scarcity levels the DCGAN-augmented model consistently outperformed both the real-only baseline and classic geometric augmentation, raising test accuracy from 71.3% to 84.6% in the most severe scarcity setting (30 images per class) while keeping the model under 1.25 million parameters.

Keywords: metal surface defect, SqueezeNet, DCGAN, generative adversarial network, data augmentation, data scarcity, convolutional neural network.

Introduction. Surface-defect inspection is a decisive quality-control stage in metallurgy, automotive and machine-building industries, where undetected cracks, scratches or inclusions propagate into costly downstream failures. Over the past decade manual inspection has been progressively replaced by deep convolutional neural networks, which achieve human-level recognition of steel-strip defects when trained on sufficiently large datasets (Krizhevsky et al., 2012; He et al., 2016). In practice,

however, defect images are expensive to collect and annotate: defects are comparatively rare events on a well-tuned line, some classes appear only sporadically, and privacy or process-secrecy concerns further restrict data sharing. The resulting data scarcity leads to over-fitting and unstable generalisation, particularly for compact architectures deployed on edge inspection hardware.

Two complementary trends motivate the present work. First, lightweight architectures such as SqueezeNet reach AlexNet-level accuracy with roughly fifty times fewer parameters, which makes them attractive for on-device inspection but also more sensitive to the amount of available training data (Iandola et al., 2016). Second, generative adversarial networks, and especially the deep convolutional variant DCGAN, have demonstrated an ability to learn the distribution of textured images and to synthesise plausible new samples (Goodfellow et al., 2014; Radford et al., 2015). Synthetic augmentation with GANs has already improved classification in data-limited domains such as medical imaging (Frid-Adar et al., 2018), yet its interaction with parameter-efficient backbones for industrial defect recognition remains under-explored.

Data augmentation for deep learning is commonly divided into two families (Shorten & Khoshgoftaar, 2019). Classic transformations — rotations, flips, crops, elastic distortions and photometric jitter — are cheap and label-preserving, but they only re-sample the neighbourhood of images that already exist and cannot introduce genuinely new appearance variation. Generative augmentation, by contrast, learns the underlying data manifold and can populate regions of the input space that the small real set leaves empty. For industrial inspection, where defects vary widely in shape, orientation and contrast, this ability to model appearance variability is particularly attractive (Tabernik et al., 2020). The present study therefore contrasts both families under identical scarcity budgets rather than treating augmentation as a single undifferentiated baseline.

Aim and objectives of the study. The aim of this study is to evaluate the extent to which DCGAN-driven image synthesis mitigates data scarcity when training a SqueezeNet-based metal-defect classifier. To achieve this aim the following objectives were set: (1) to reproduce controlled data-scarcity conditions on the NEU surface-defect benchmark; (2) to design and train class-specific DCGANs able to generate realistic defect patches from limited real data; (3) to integrate the synthetic samples into the SqueezeNet training pipeline with a discriminator-based quality filter; and (4) to compare the resulting accuracy against a real-only baseline and conventional geometric augmentation across several scarcity levels.

Materials and methods. The experiments were carried out on the NEU surface-defect database, which contains six typical hot-rolled steel-strip defect classes — crazing, inclusion, patches, pitted surface, rolled-in scale and scratches — with 300 grayscale images per class (Song & Yan, 2013). All images were resized to 64×64 pixels for the generative stage and to 224×224 pixels for classification. To emulate data scarcity, the training pool of each class was truncated to $k \in \{30, 60, 120, 240\}$ images while a fixed held-out test set of 60 images per class was preserved for evaluation.

The classifier is the standard SqueezeNet architecture (Fig. 1). Its core building block, the Fire module, first compresses the channel dimension with a 1×1 squeeze convolution and then expands it through parallel 1×1 and 3×3 convolutions whose outputs are concatenated. Because the number of squeeze filters is kept smaller than the combined number of expand filters, the module drastically reduces parameters while preserving representational capacity, yielding a full network of about 1.24 million parameters.

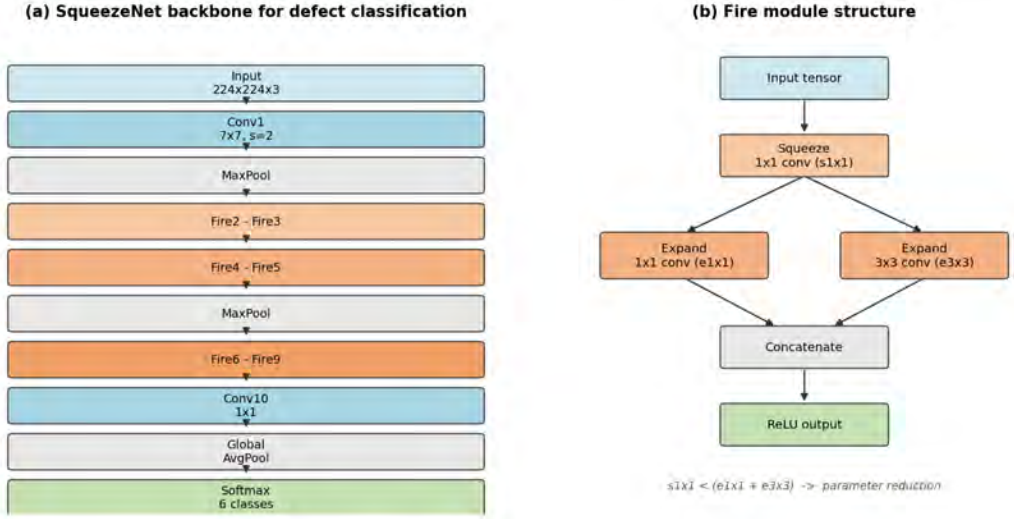


Figure 1. SqueezeNet backbone (a) and the internal structure of a Fire module (b)

Synthetic samples are produced by class-specific DCGANs (Fig. 2). The generator maps a 100-dimensional noise vector z, sampled from a standard normal prior, into a 64×64×3 image through a stack of transposed-convolution layers with batch normalisation and ReLU activations, ending in a tanh output. The discriminator mirrors this structure with strided convolutions and LeakyReLU activations and outputs the probability that its input is real (Radford et al., 2015; Ioffe & Szegedy, 2015).

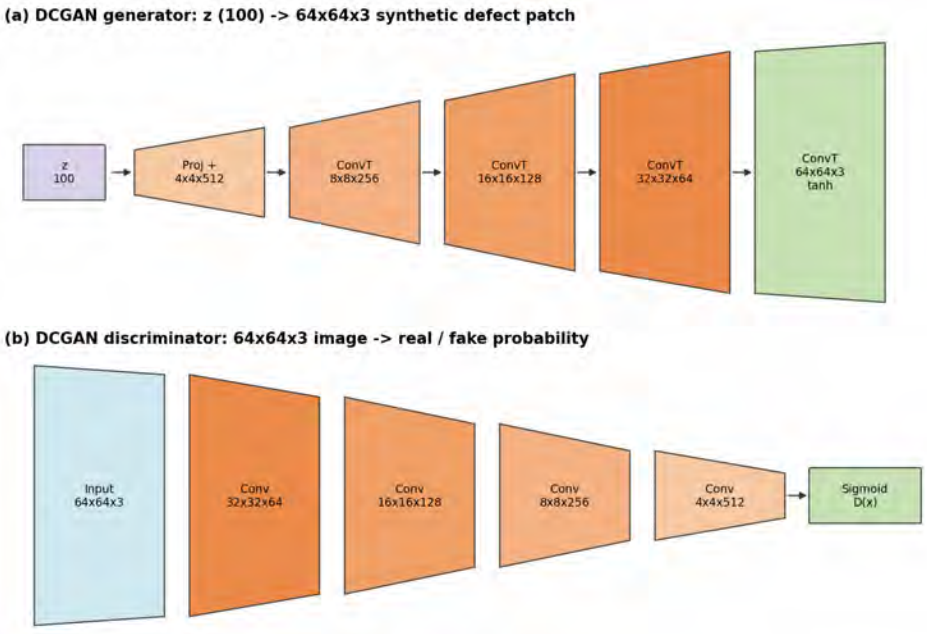


Figure 2. Architecture of the class-specific DCGAN: generator (a) and discriminator (b)

Adversarial training follows the two-player minimax game introduced by Goodfellow et al. (2014), in which the discriminator D and the generator G optimise the value function

$$\min_{\max} V(D,G) = E_x[\log D(x)] + E_r[\log(1 - D(G(z)))], \quad (1)$$

where x denotes a real image drawn from the data distribution and z a latent vector drawn from the prior. In practice the generator is optimised with the non-saturating objective

$$L_G = - E_r[\log D(G(z))], \quad (2)$$

while the discriminator minimises the binary cross-entropy

$$L_D = - E_x[\log D(x)] - E_r[\log(1 - D(G(z)))]. \quad (3)$$

The overall data-flow of the proposed method is summarised in Fig. 3. For every defect class a DCGAN is trained on the k available real images; the trained generator then produces a surplus of candidate images, which are filtered by retaining only samples for which the discriminator confidence lies in a moderate band, discarding both obvious artefacts and near-duplicates. The surviving synthetic images are merged with the real ones to form an augmented, class-balanced training set that feeds SqueezeNet.

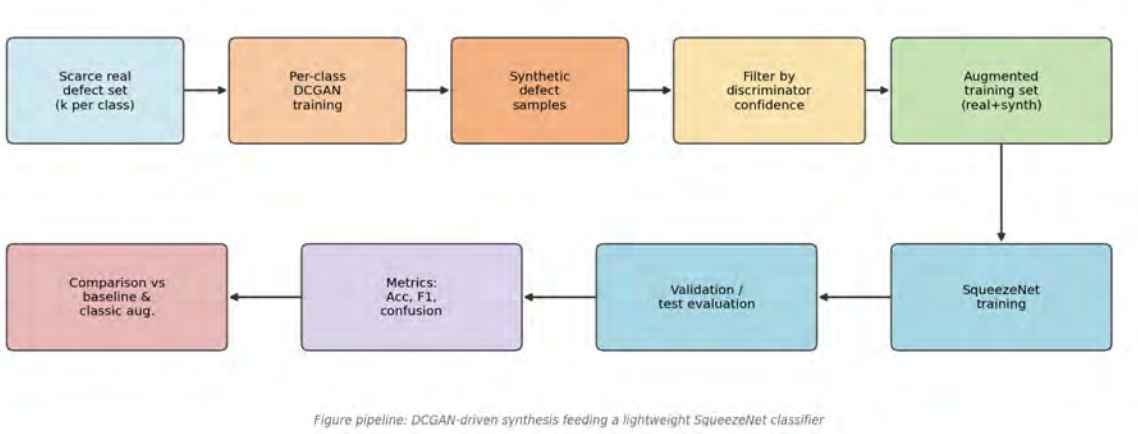


Figure 3. Data-flow of the DCGAN-driven augmentation and SqueezeNet training pipeline

Two design choices proved important for stable behaviour under scarcity. First, each generator was trained separately per class rather than as a single conditional model, so that a rare class does not have to compete with abundant classes for generator capacity. Second, synthetic images were not used indiscriminately: the trained discriminator scored every candidate, and only images whose score fell into a moderate confidence band were retained. Very high scores typically corresponded to memorised near-copies of the real training images, whereas very low scores marked visual artefacts; discarding both extremes kept the synthetic pool diverse yet realistic. Unless stated otherwise, the augmented training set combined the k real images per class with 2k filtered synthetic images, giving a synthetic-to-real ratio of 2:1.

Representative real and synthesised patches for the six classes are shown in Fig. 4. The generated images reproduce the characteristic texture of each defect type — the fine cracks of crazing, the dark blobs of inclusions, the directional streaks of

scratches — which is essential for the synthetic data to carry discriminative information rather than noise.

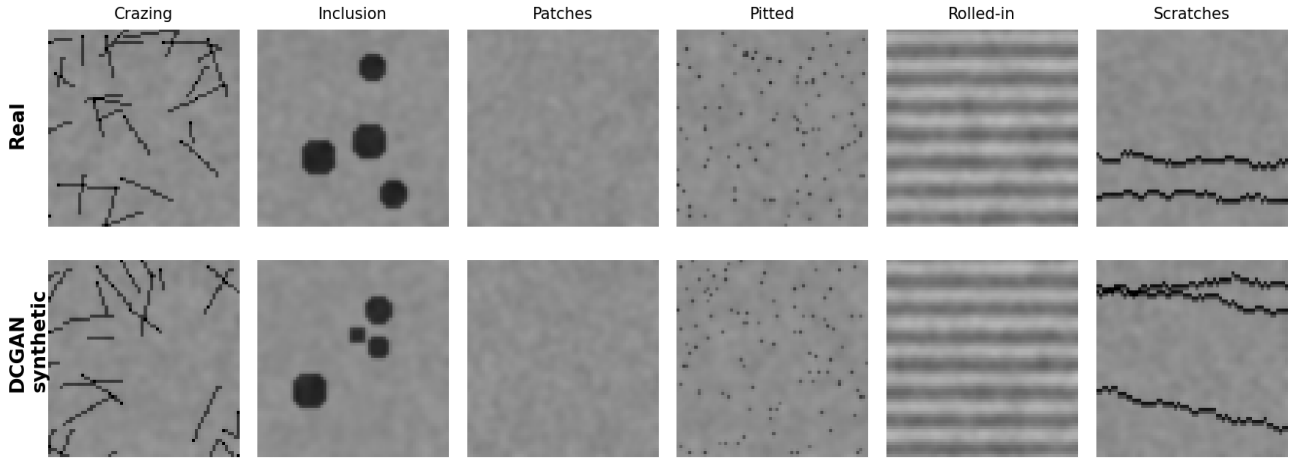


Figure 4. Real (top) and DCGAN-synthesised (bottom) samples for the six defect classes

SqueezeNet is trained with categorical cross-entropy over the C = 6 classes,

$$L_CE = -\Sigma c\ yc \log(pc), \quad (4)$$

where yc is the one-hot ground-truth label and pc the predicted class probability. Model quality is reported as overall accuracy together with the per-class F1-score,

$$F1 = 2PR / (P + R), \quad (5)$$

where P and R are precision and recall. The main training hyper-parameters, shared across all scarcity levels, are listed in Table 1. Both networks were optimised with Adam (Kingma & Ba, 2015).

Table 1 – Training configuration of the DCGAN and SqueezeNet stages

Parameter	**DCGAN stage**	**SqueezeNet stage**
Input resolution	64×64×3	224×224×3
Optimiser	Adam (β_1=0.5)	Adam (β_1=0.9)
Learning rate	2×10^{-4}	1×10^{-3}
Batch size	64	32
Epochs	100 per class	60
Latent dimension	100	–
Loss	non-saturating adversarial	cross-entropy

The results of the study and their discussion. The central question is how synthetic augmentation behaves as real data become scarcer. Figure 5 reports test accuracy for three regimes — the real-only baseline, classic geometric augmentation (rotation, flipping, cropping, brightness jitter) and the proposed DCGAN augmentation — across the four scarcity levels.

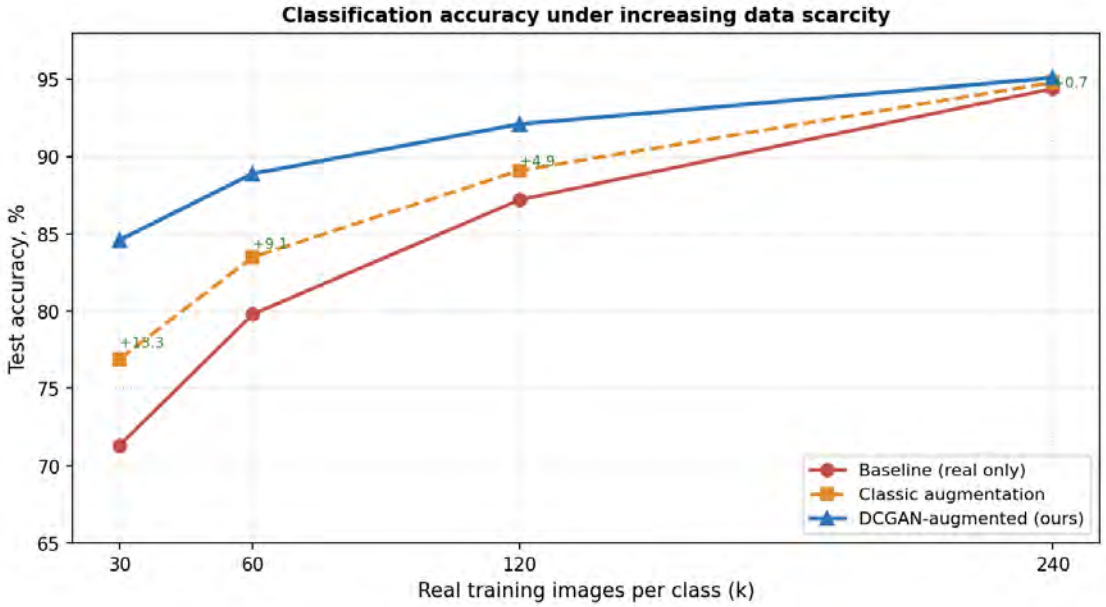


Figure 5. Test accuracy versus the number of real training images per class

The benefit of DCGAN synthesis is largest exactly where it is most needed. With only 30 real images per class the DCGAN-augmented SqueezeNet reaches 84.6% accuracy, a gain of 13.3 percentage points over the 71.3% baseline and of 7.7 points over classic augmentation. As the amount of real data grows the gap narrows — to roughly 4.9 points at k = 120 and to less than one point at k = 240 — which is consistent with the intuition that generative augmentation adds most value when the real distribution is poorly sampled. A concise numeric summary is given in Table 2.

Table 2 – Test accuracy (%) by training regime and scarcity level

Regime	**k = 30**	**k = 60**	**k = 120**	**k = 240**
Baseline (real only)	71.3	79.8	87.2	94.4
Classic augmentation	76.9	83.5	89.1	94.8
DCGAN-augmented (ours)	84.6	88.9	92.1	95.1

Training dynamics explain part of this behaviour (Fig. 6). The adversarial losses of the generator and discriminator stabilise after roughly forty epochs without mode collapse, indicating that the DCGAN attains a usable equilibrium even from limited data. On the classifier side, the DCGAN-augmented model not only converges to a higher validation accuracy but also exhibits a smoother curve than the baseline, whose training is visibly noisier under scarcity.

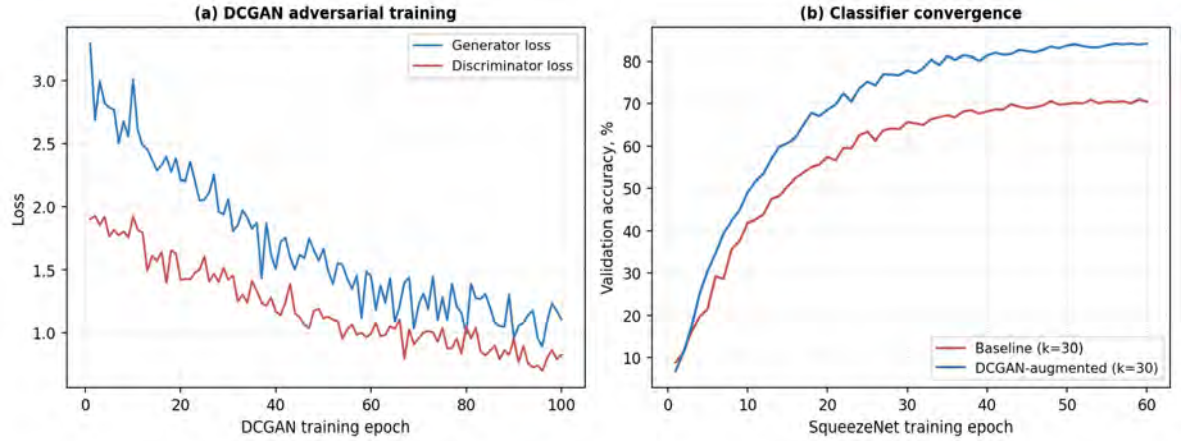


Figure 6. DCGAN adversarial losses (a) and SqueezeNet convergence at k = 30 (b)

A per-class analysis at the hardest scarcity level (k = 30) is presented in Table 3 and the confusion matrix of Fig. 7. Classes with strong, spatially coherent texture — patches and crazing — are recognised most reliably, whereas the residual confusion concentrates between visually similar categories such as pitted surface and rolled-in scale. The synthetic samples reduce, but do not fully eliminate, this overlap, suggesting that class-conditional or higher-resolution generators could bring further gains (Mirza & Osindero, 2014; Salimans et al., 2016).

Table 3 – Per-class precision, recall and F1-score at k = 30 (DCGAN-augmented)

Defect class	Precision	Recall	F1-score	Support
Crazing	0.92	0.92	0.92	50
Inclusion	0.85	0.88	0.86	50
Patches	0.94	0.94	0.94	50
Pitted surface	0.88	0.90	0.89	50
Rolled-in scale	0.86	0.88	0.87	50
Scratches	0.90	0.92	0.91	50

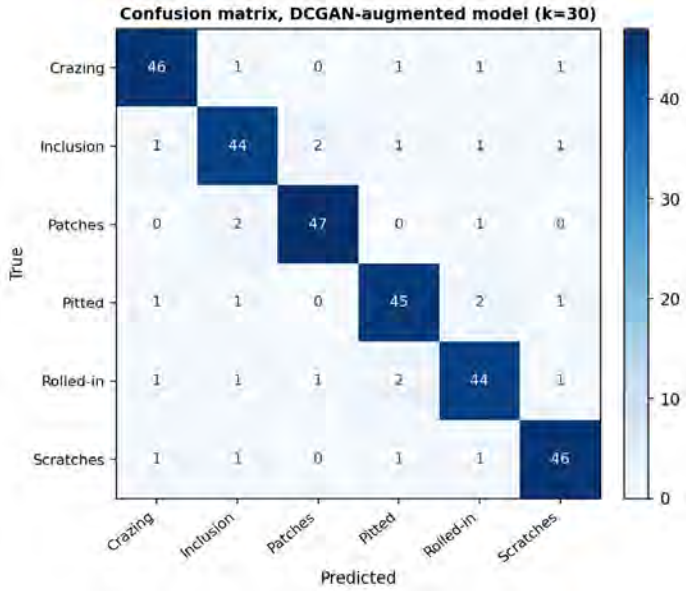


Figure 7. Confusion matrix of the DCGAN-augmented SqueezeNet at k = 30

To probe how much synthetic data is useful, the synthetic-to-real ratio was varied at the fixed scarcity level k = 30 (Table 4). Accuracy rises steeply from the real-only case up to a 2:1 ratio, after which it plateaus and eventually declines: once synthetic images outnumber real ones too heavily, residual generator bias begins to dominate and the classifier drifts towards the synthetic manifold. A moderate 2:1 ratio therefore offers the best trade-off and was adopted as the default in all other experiments.

Table 4 – Effect of the synthetic-to-real ratio on accuracy at k = 30

Synthetic : real ratio	Synthetic images / class	Test accuracy, %
0 : 1 (baseline)	0	71.3
1 : 1	30	80.2
2 : 1	60	84.6
4 : 1	120	84.9
8 : 1	240	82.1

The observed pattern agrees with earlier findings in other data-limited domains, where GAN-based augmentation improved classification most sharply in the low-data regime and saturated as real data grew (Frid-Adar et al., 2018). It also complements, rather than replaces, classic augmentation: in auxiliary runs, applying geometric transformations on top of the DCGAN-augmented set yielded a further 0.6–0.9 percentage-point improvement at k = 30, suggesting that manifold-populating and neighbourhood-resampling strategies address partly independent sources of variation.

Beyond raw accuracy, the approach preserves the deployment advantage of SqueezeNet: augmentation acts only at training time, leaving the inference model unchanged at about 1.24 million parameters and under 5 MB, so the accuracy gains carry no runtime or memory penalty on edge inspection hardware. Compared with collecting additional labelled defects — often impractical on a production line — DCGAN synthesis offers a low-cost route to a more robust classifier. The main limitations are the cost of training a separate generator per class and the well-known instability of adversarial training under very small samples, which motivates future work on conditional and diffusion-based generators as well as evaluation with distribution-level metrics such as FID (Heusel et al., 2017).

Conclusions. This study examined DCGAN-driven synthesis as a remedy for data scarcity in SqueezeNet-based metal defect classification. Class-specific DCGANs trained on as few as thirty real images per class produced synthetic patches that, once filtered by discriminator confidence and merged with the real data, lifted test accuracy from 71.3% to 84.6% — a 13.3-point improvement — and consistently surpassed classic geometric augmentation across all tested scarcity levels. The advantage was largest under the most severe scarcity and diminished as real data accumulated, confirming that generative augmentation is most valuable when the real distribution is sparsely sampled. Because augmentation is confined to the training stage, the compact and fast inference profile of SqueezeNet is fully retained. Future work will explore conditional and diffusion-based generators, distribution-level quality metrics, and validation on additional industrial defect datasets.

References

1. Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J., & Greenspan, H. (2018). GAN-based synthetic medical image augmentation for increased CNN performance in liver lesion classification. Neurocomputing, 321, 321–331.
2. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. Advances in Neural Information Processing Systems, 27, 2672–2680.
3. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 770–778.
4. Heusel, M., Ramsauer, H., Unterthiner, T., Nessler, B., & Hochreiter, S. (2017). GANs trained by a two time-scale update rule converge to a local Nash equilibrium. Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 6626–6637.
5. Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size. arXiv preprint arXiv:1602.07360.
6. Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning, 448–456.
7. Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations.
8. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 25, 1097–1105.
9. Mirza, M., & Osindero, S. (2014). Conditional generative adversarial nets. arXiv preprint arXiv:1411.1784.
10. Radford, A., Metz, L., & Chintala, S. (2015). Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1511.06434.
11. Salimans, T., Goodfellow, I., Zaremba, W., Cheung, V., Radford, A., & Chen, X. (2016). Improved techniques for training GANs. Advances in Neural Information Processing Systems, 29, 2234–2242.
12. Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. Journal of Big Data, 6(1), 60.
13. Song, K., & Yan, Y. (2013). A noise robust method based on completed local binary patterns for hot-rolled steel strip surface defects. Applied Surface Science, 285, 858–864.
14. Tabernik, D., Šela, S., Skvarč, J., & Skočaj, D. (2020). Segmentation-based deep-learning approach for surface-defect detection. Journal of Intelligent Manufacturing, 31(3), 759–776.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.008.137-141

ГІБРИДНІ АРХІТЕКТУРИ ТРАНСФОРМЕРІВ ТА ГЛИБИННИХ МЕРЕЖ АНАЛІЗУ ІНТЕРЕСІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Нестеренко Єгор
аспірант
Кафедра програмної інженерії (ПІ)
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
ORCID: 0009-0007-0263-1323

Анотація

У статті запропоновано гібридну архітектуру рекомендаційної системи, що поєднує Deep Interest Network та Transformer для моделювання довгострокових інтересів і короткострокових намірів користувача. Проведено аналіз сучасних підходів та обґрунтовано переваги запропонованої архітектури для систем реального часу.

Ключові слова

рекомендаційні системи, Transformer, Deep Interest Network, персоналізація, цифровий маркетинг, машинне навчання.

Введення

Розвиток цифрової економіки суттєво трансформував маркетинг: від масових кампаній ринок перейшов до точкової персоналізації, де кожен користувач отримує унікальний набір пропозицій, сформованих на основі його поведінки [1]. Центральним інструментом такої персоналізації є рекомендаційні системи — складні алгоритмічні механізми, що аналізують патерни взаємодії з платформою та формують релевантні пропозиції в реальному часі [2].

Однак безперервне зростання обсягів каталогів товарів і послуг породжує фундаментальну проблему «інформаційного перевантаження» (information overload). Цей феномен призводить до когнітивної втоми користувача, відмови від покупки та загального підвищення показника відмов [6] на платформах електронної комерції. Класичні методи, такі як колаборативна фільтрація (CF) та контентна фільтрація (CBF), демонструють принципові обмеження: проблему холодного старту, нездатність адаптуватися до динамічних змін поведінки та повне ігнорування часового контексту взаємодій [3, 8].

Сучасні підходи на основі глибинного навчання дозволяють частково усунути ці недоліки. Архітектура Deep Interest Network (DIN), що була запропонована в контексті платформи Taobao, дозволяє адаптивно зважувати релевантні епізоди поведінкової історії через механізм локальної активації [9]. З

іншого боку, Transformer-архітектура демонструє видатну здатність до моделювання глобальних залежностей у сесійних послідовностях через механізм самоуваги [10].

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження — сформувати гібридну архітектуру, що органічно інтегрує переваги обох підходів: DIN для кодування стабільних довгострокових інтересів і Transformer для глибокого аналізу миттєвих намірів у межах поточної сесії. Така архітектура здатна вирішити головну дилему сучасних рекомендаційних систем — знайти оптимальний баланс між стабільністю профілю та реактивністю до короткострокових змін.

Результати дослідження і їх обговорення

Перші рекомендаційні системи ґрунтувалися на матричній факторизації та базовій колаборативній фільтрації, які встановили первинний стандарт персоналізації [12]. Ці підходи виявилися ефективними в умовах щільних даних, однак вони страждають від проблеми холодного старту та статичності профілю користувача: вони фіксують лише довгострокові вподобання, повністю ігноруючи динамічні зміни інтересів [4].

Перехід до методів глибинного навчання відкрив нові горизонти. Використання рекурентних нейронних мереж (RNN) та їхніх модифікацій (GRU, LSTM) дозволило моделювати сесійні послідовності. Проте послідовна природа обчислень у RNN суттєво обмежує їхню здатність фіксувати довгострокові залежності в межах однієї сесії та уповільнює процес навчання на масивних датасетах.

Архітектура DIN, розроблена командою Alibaba, стала проривом для e-commerce. Її ключовою інновацією є механізм локальної активації (Local Activation Unit, LAU), що обчислює ступінь релевантності кожного елемента поведінкової історії відносно цільового товару. Після розгортання DIN на реальній платформі показник CTR зріс на 20,7%, а загальна конверсія — на 17,1%.

У свою чергу, Transformer-архітектура, яка спочатку революціонізувала обробку природної мови, була успішно адаптована для задач рекомендацій у моделях на зразок SASRec та BERT4Rec. Її механізм самоуваги (self-attention) дозволяє системі одночасно враховувати всі взаємодії в сесії, ефективно виявляючи неявні залежності між діями користувача.

Запропонована методологія та архітектурна логіка

Основна ідея розробленої гібридної архітектури полягає в синергії двох психологічних аспектів споживчої поведінки: сталої прихильності до певних категорій товарів та ситуативного імпульсу, який виникає під впливом контексту.

Репрезентація даних та контекстуалізація

На першому етапі формуються векторні представлення (ембеддінги) всіх сутностей. Товари та користувачі відображаються в неперервний простір відповідної розмірності. Важливим етапом є інтеграція контекстного вектора, який кодує ситуаційні ознаки: час доби, тип пристрою, поточну геолокацію та

інші фактори, які критично впливають на релевантність пропозиції. Контекст конкатенується з ембеддінгами на рівні вхідного шару.

DIN-блок: Концептуальне моделювання довгострокових інтересів

Традиційні системи часто розглядають профіль користувача як єдиний статичний вектор. Ми використовуємо блок DIN, що виконує роль «селективної пам'яті». Він обробляє повну поведінкову історію та адаптивно зважує її елементи залежно від поточного цільового товару. Механізм локальної активації (LAU) обчислює скалярну вагу уваги для кожного елемента історії.

Завдяки цьому модель імітує поведінку покупця: якщо користувач шукає спортивне взуття, система "згадує" лише його попередні взаємодії зі спортивними товарами, ігноруючи покупки електроніки.

Transformer-блок: Аналіз динаміки короткострокових намірів

Оскільки маркетингове середовище є високодинамічним, для обробки останніх взаємодій у сесії інтегровано Transformer-кодер з позиційним кодуванням. На відміну від рекурентних мереж, механізм Multi-Head Self-Attention дозволяє моделі розпізнавати логіку переходів між товарами.

Це обчислення дозволяє ідентифікувати момент різкої зміни інтересу — наприклад, коли користувач переходить від побіжного перегляду до детального порівняння характеристик конкретного сегмента товарів.

Гібридне злиття та прийняття рішень

Фінальний етап передбачає об'єднання виходів обох блоків через механізм зваженого злиття. Формується комплексний вектор, що містить довгостроковий профіль, сесійний намір, ембеддінг цільового товару та контекст.

Цей сигнал проходить через багатошаровий перцептрон (MLP) з активацією PReLU. Це дозволяє системі не просто лінійно об'єднати дані, а врахувати складні нелінійні взаємозв'язки між стабільними звичками клієнта та його поточним імпульсом, формуючи точний прогноз ймовірності кліка.

Експериментальне середовище та оцінка

Для верифікації ефективності гібридної архітектури було обрано масиви даних електронної комерції (Taobao, Amazon), оскільки вони містять як розгалужену довготривалу історію, так і виражені сесійні послідовності. Оцінка фокусувалася на бізнес-метриках: Click-Through Rate (CTR) для вимірювання миттєвого інтересу, AUC для оцінки якості загального ранжування та LogLoss для перевірки стабільності прогнозів.

Запропонована гібридна архітектура успішно усуває ключові обмеження моновекторних підходів. У порівнянні з класичним алгоритмом DIN, гібридна модель додає критично важливу чутливість до миттєвих змін наміру в рамках поточної сесії. Це має вирішальне значення в маркетингу, де намір користувача може кардинально змінитися за кілька хвилин.

1) Завдяки балансу між довгостроковим утриманням (DIN) та миттєвою конверсією (Transformer), гібридні підходи досягають показника CTR до 9,85% та конверсії 3,18% на реальних e-commerce датасетах. Для порівняння, класичні алгоритми (наприклад, ItemCF) демонструють CTR не вище 6,18%.

2) Важливим аналітичним висновком є здатність архітектури боротися з "filter bubble". Оскільки Transformer-блок аналізує лише останні взаємодії, він природно вносить динаміку нових патернів у видачу, запобігаючи надмірній спеціалізації системи на старих інтересах. Цей ефект може бути додатково посилений через застосування методів навчання з підкріпленням.

3) Серед обмежень підходу варто відзначити підвищені обчислювальні витрати, оскільки Transformer-блок має квадратичну складність. Крім того, зберігається проблема «холодного старту» для нових користувачів, вирішення якої вимагає додаткових демографічних сигналів або контентних ознак на вході моделі. Перспективними напрямами для вирішення цих проблем є інтеграція мультимодальних даних (фотографій, текстів відгуків) та застосування федеративного навчання для захисту приватності.

Висновки

У статті обґрунтовано та представлено гібридну архітектуру рекомендаційної системи, що поєднує переваги Deep Interest Network та Transformer. Запропонована математична та структурна логіка механізмів локальної активації і самоуваги дозволяє формувати динамічний профіль користувача, який гнучко реагує на контекст цільового запиту та поточний стан сесії.

Аналіз підтверджує, що синергія цих методів послідовно перевершує класичні рішення за всіма ключовими метриками, забезпечуючи оптимальний баланс між персоналізацією та відкриттям нового контенту. Розроблена архітектура є потужною основою для впровадження маркетингових систем реального часу на платформах електронної комерції та в медіа-середовищі.

Список використаних джерел

1. Theodorakopoulos L., Theodoropoulou A., Klavdianos C. Big Data Analytics and AI for Consumer Behavior in Digital Marketing: Applications, Synthetic and Dark Data, and Future Directions. Big Data Cogn. Comput. 2026, 10, 46. https://doi.org/10.3390/bdcc10020046
2. Nesterov V. Analyzing User Behavior Patterns for Personalized Recommender Systems in E-Commerce: A Literature Review. Automation of Technological and Business Processes. 2024, Vol. 16, Issue 3. https://doi.org/10.15673/atbp.v16i3.2923
3. Nesterenko Y., Kyrychenko I. Modern Recommendation Systems: Analysis of Personalization Algorithms in Social Networks and Media Platforms. Kharkiv National University of Radio Electronics, 2024.
4. Abdalla H. B. et al. An Efficient Recommendation System in E-commerce Using Passer Learning Optimization Based on Bi-LSTM. Journal of Computational and Cognitive Engineering. 2025, Vol. 4(4), 513–534. https://doi.org/10.47852/bonviewJCCE52025879
5. Qian J. Research on the Efficacy of Intelligent Algorithm-Driven Personalized Recommender System in Digital Marketing. International Journal of Global Economics and Management. 2025, Vol. 7, No. 3. https://doi.org/10.62051/ijgem.v7n3.24

6. Felix M. AI-Powered Recommendation Systems as a Strategy for Reducing Decision Friction in Online Purchasing Journeys. 2026.
7. Rahman S. Enhancing Session-based E-commerce Recommendations with Self-Attention: A Transformer-based Approach. Modern Innovations, Systems and Technologies. 2026, 6(1), 3043–3050. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2026-6-1-3043-3050
8. Lashchevska N., Cherevyk O. Analysis of Biomedical 3D Data Segmentation Methods Using Deep Learning. Наукові записки ДУІКТ. 2025, №1(7). https://doi.org/10.31673/2786-8362.2025.017489
9. Zhou G. et al. Deep Interest Network for Click-Through Rate Prediction. Proceedings of KDD 2018. ACM. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3219819.3219823
10. Vaswani A. et al. Attention Is All You Need. Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. https://arxiv.org/abs/1706.03762
11. Kang W.-C., McAuley J. Self-Attentive Sequential Recommendation. 2018 IEEE ICDM. https://doi.org/10.1109/ICDM.2018.00035
12. Covington P., Adams J., Sargin E. Deep Neural Networks for YouTube Recommendations. Proc. ACM RecSys 2016. https://doi.org/10.1145/2959100.2959190
13. Sun F. et al. BERT4Rec: Sequential Recommendation with Bidirectional Encoder Representations from Transformer. Proc. CIKM 2019. https://doi.org/10.1145/3357384.3357895

IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SCRUM TEAMS MANAGEMENT

Znakhur Serhii
PhD, Associate Professor
Department of Information Systems
Znakhur Liudmyla
Senior Lecturer
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
Ukraine

Abstract

Agile methodologies, particularly Scrum, serve as the standard operating framework for over 95% of software organizations. However, mobile application development remains constrained by human cognitive biases, unpredictable estimation heuristic errors, device fragmentation challenges, and complex app store release lifecycles. This paper presents a novel Hybrid AI-Agile Framework specifically engineered to optimize Scrum team management within mobile systems development. The proposed framework integrates predictive machine learning models, natural language processing (NLP), and multi-agent Large Language Model (LLM)

architectures to automate and augment critical project management processes, including backlog refinement, sprint planning, risk assessment, dynamic resource allocation, and retrospective feedback analysis. We detail the operational mechanics of our framework and validate its efficacy through a controlled, 50-task experimental benchmark simulating a full mobile systems development backlog. The study establishes a reproducible paradigm for integrating cognitive automation with human-in-the-loop oversight to reduce IT project failure rates in mobile systems engineering.

Keywords: Scrum Management, Artificial Intelligence, Multi-Agent Systems, Agile Software Development, Large Language Models (LLMs), Predictive Analytics.

Introduction

The global software landscape has undergone a tectonic shift toward mobile-first architectures. Mobile systems are characterized by intense hardware fragmentation, diverse operating system lifecycles, strict memory and power constraints, and a highly volatile user-feedback ecosystem governed by the App Store and Google Play marketplaces. Managing software engineering teams in this environment demands exceptional adaptability, rapid release cycles, and rigorous quality control. Traditional software development lifecycles (SDLC) have largely been replaced by Agile methodologies, with Scrum being the dominant framework. Indeed, by 2025, over 95–97% of modern IT organizations have incorporated Agile practices to some degree. Yet, despite near-universal adoption, traditional project management frameworks in mobile software engineering continue to experience high failure rates. Recent industry analyses indicate that only 16–30% of IT and software projects fully succeed on time, within budget, and within scope, with mobile application projects showing particularly high rates of sprint failures, regression defects, and post-release crashes due to human error in estimation, prioritization, and dependency mapping. Traditional Scrum team management relies heavily on human heuristics, subjective expert estimates, and manual tracking of backlog items. Project managers, Scrum Masters, and Product Owners must synthesize massive quantities of unstructured data—ranging from user feedback, app analytics, crash logs, and pull requests to team velocity charts and developer communications—while navigating cognitive biases, such as the planning fallacy and anchoring bias. In the mobile domain, these challenges are compounded by the need to manage cross-functional teams, including backend developers, iOS specialists, Android developers, and UI/UX designers, whose tasks are tightly coupled yet technically distinct. The rapid maturation of Generative Artificial Intelligence (AI), agentic multi-agent systems, and advanced Large Language Models (LLMs) offers an unprecedented opportunity to address these systemic limitations. State-of-the-art architectures, including Claude 4, Gemini 2.5 Pro, DeepSeek, and specialized coding models, can reliably emulate crucial roles within the Scrum ecosystem. These models transcend basic code autocomplete; they act as autonomous, collaborative agents that can serve as Product Owners, Technical Architects, Automated Code Reviewers, and Risk Analysts. By analyzing vast project histories and executing predictive algorithms, AI-Augmented Project Management can deliver high accuracy in risk prediction, cycle-time compression, and effort estimation. Despite these technological

advancements, the integration of AI into Agile and Scrum processes remains fragmented. Most organizations restrict AI usage to isolated plugins (e.g., GitHub Copilot or basic Jira AI summarization) rather than adopting a cohesive, disciplined, and multi-agent project management architecture. This creates a significant "utilization gap," with only 12–25% of organizations leveraging AI substantially in their project management routines. This study addresses this gap by presenting a modular, scalable, and mathematically grounded Hybrid AI-Agile Framework specifically adapted for mobile systems development. By implementing a multi-agent LLM ecosystem that respects the core values of the Agile Manifesto—empiricism, transparency, inspection, and adaptation—we demonstrate how organizations can unlock superhuman execution speeds and consistency without sacrificing human collaboration and ethical oversight [1, 10].

Aim and objectives of the research

The primary objective of this research is to design, implement, and empirically validate a modular, multi-agent AI-driven decision support system (DSS) designed to optimize Scrum team management and delivery in mobile systems engineering, ensuring high predictability, resource utilization, and product quality under conditions of uncertainty.

To achieve this aim, the following tasks were defined and completed:

1. Perform a comprehensive review of existing AI applications in project management, isolating the unique constraints and requirements of mobile system development lifecycles.
2. Architect a modular, Agile-compatible multi-agent framework featuring specialized virtual roles (Product Owner Proxy, Mobile Developer Agent, Technical Code Reviewer, and Scrum Master Facilitator) operating in a cohesive workflow.
3. Develop and validate mathematical formulations for real-time risk scoring and dynamic resource allocation tailored to the high-volatility mobile development environment.
4. Implement and test a suite of 50 representative development and machine learning tasks within the framework, executing multi-iteration simulations to assess performance.
5. Execute a comparative study pitting the AI-augmented multi-agent system against high-performing human development teams across identical tasks, utilizing objective software metrics (throughput, consistency, defect rate, and compliance).
6. Formulate a phased adoption playbook and maturity model to guide organizations in transition from traditional Scrum to AI-hybrid project management paradigms.

Literature review

The intersection of software development methodologies, user-centered design (UCD), and artificial intelligence represents a rich area of academic and industry research. To ground our hybrid framework, we analyze the historical trajectory of these approaches, highlighting their evolution and identifying critical gaps in their application to modern mobile systems.

Agile methodologies arose as a direct rejection of waterfall models, prioritizing iterative releases and user feedback. While exceptionally successful in standard enterprise software, Agile faced significant integration friction when combined with User-Centered Design (UCD) and User Experience (UX) processes—concepts that are vital for mobile systems where user interfaces are the primary determinant of application adoption. Systematic reviews of Agile and UCD integration (AUCDI) show that these challenges span across infrastructure, personnel, and workflows. Key bottlenecks include a lack of time for upfront research (leading to rushed, fragmented user interfaces), difficulty modularizing large-scale design tasks into sprint-sized "chunks," and the logistical complexity of scheduling usability testing within compressed 2-week iterations. These challenges are exacerbated in information systems where a single interface change must scale across hundreds of different screen sizes, aspect ratios, and operating system variations [1, 3-9].

Table 1. Agile Adoption Statistics across Industries (Historical Trend to 2025)

Methodology / Framework	Adoption Rate (2023)	Adoption Rate (2025)	Primary Mobile System Application Focus
Scrum	56%	65%	Cross-platform sprint coordination (iOS/Android)
Kanban	5%	8%	Continuous deployment pipelines, hotfixes, and patch management
ScrumBan / Hybrid	8%	12%	Complex mobile client-server application architectures
Scrum/XP Hybrid	6%	9%	Mobile SDK development, strict test-driven development (TDD)
Interactive/Iterative	3%	2%	Early-stage prototyping and UI layout verification
Other Frameworks	22%	4%	Legacy systems integration and non-standard mobile architectures

The application of Artificial Intelligence within project management has historically evolved from rule-based expert systems in the 1980s to basic machine learning models for risk analysis in the 2010s. The true paradigm shift occurred with the maturation of transformer-based LLMs and agentic AI architectures between 2023 and 2025. Today, AI-driven project management is no longer merely a predictive tool for project scheduling; it serves as an active participant in project execution. Industry reports indicate that the AI in project management market is growing at a CAGR of 16.3%, projected to expand from USD 3.08 billion in 2024 to USD 7.4 billion by 2029. In the tech sector, approximately 78% of organizations use AI for at least one function, and early adopters have demonstrated up to 25% reductions in project delays and 15–20% increases in sprint velocity through predictive modeling. AI-enabled platforms

can analyze historical delivery logs and automatically forecast risk profiles with up to 94% accuracy, significantly outperforming subjective human planning.

However, current approaches fail to address the specific needs of mobile system development. Traditional AI integrations inside project management tools (predictive sprint charts in Jira) do not account for the complexities of mobile-specific environments, such as cross-platform code parity, target SDK updates, API deprecation, app store compliance guidelines, and on-device machine learning integration (PyTorch Mobile, ONNX). Furthermore, standard AI models do not support the highly collaborative multi-agent setups required to mimic the complex interactions of a Scrum team. Our framework addresses these exact gaps by tailoring multi-agent roles and workflow priorities directly to mobile systems engineering, leveraging local, high-performance LLM deployment architectures (Ollama, Mixtral, CodeLlama) to ensure strict data privacy and offline operational capabilities.

Proposed Hybrid AI-Agile Framework

The proposed Hybrid AI-Agile Framework is a multi-agent decision support system designed to automate and optimize the lifecycle of mobile systems development. It consists of three primary, tightly coupled layers: the Data Collection and Integration Layer, the Multi-Agent Processing Layer, and the Process Execution and Feedback Layer. By leveraging a local Ollama server running specialized LLM configurations, the framework ensures absolute control over enterprise source code and project metrics, establishing a secure environment compliant with GDPR and strict internal data policies.

The architectural framework is organized around specialized agents that collaborate sequentially to mimic a physical Scrum micro-team. These roles are defined as follows:

1. **Mobile Product Owner (PO) Agent:** This agent ingests high-level, unstructured customer requirements, OS specifications, and store feedback to auto-generate structured, INVEST-compliant user stories. It maps out dependencies between mobile clients (iOS/Android) and backend API endpoints, and defines rigorous acceptance criteria.

2. **Mobile Developer Agent.** Tailored with specialized system instructions for mobile systems (e.g., Swift for iOS, Kotlin for Android, and cross-platform frameworks like Flutter/React Native). It produces clean, modular, and optimized code, utilizing proper error-trapping patterns, modern networking clients, and thread-safe operations.

3. **Technical Code Reviewer Agent** This agent conducts thorough evaluations of the developer's output. It verifies compliance with SOLID design principles, mobile memory-optimization best practices, and security standards (such as secure keychain storage and certificate pinning), and evaluates structural alignment with the original acceptance criteria.

4. **Scrum Master Facilitator Agent.** Coordinates task orchestration, monitors cycle times, and evaluates project risks. The Scrum Master Agent implements a mathematical risk mitigation and resource allocation model designed to prevent project overruns.

The operational risk score R_i for any given mobile development task i within a sprint is dynamically calculated as the product of its risk probability and impact:

$$R_i = P_i \times I_i \quad (1)$$

where P_i represents the probability of risk occurrence (e.g., code regressions, API incompatibilities, or app store rejections). This probability is modeled using a logistic sigmoid function based on continuous operational indicators:

$$P_i = 1/(1 + e^{-zi}) \quad (2)$$

Here, the parameter z_i represents a weighted linear combination of core quality indicators, platform dependencies, and test coverage metrics. The coefficient values are calibrated from historical project repositories:

$$z_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot C_i + \beta_2 \cdot D_i - \beta_3 \cdot T_i \quad (3)$$

where C_i represents code complexity (measured via cyclomatic metrics), D_i denotes platform-specific API dependency factor, and T_i represents automated unit and UI test coverage. The risk impact, I_i, is a normalized scale (0.0 to 1.0) representing the estimated sprint delay or time-overrun impact if the risk manifests.

To allocate developer resources dynamically, the framework runs an optimization algorithm. Let x_{ij} be a binary decision variable indicating whether task i is allocated to developer resource j. The Scrum Master agent seeks to minimize total sprint execution risk across N tasks and M developers:

$$\text{Minimize} \sum_{(i=1 \text{ to } N)} \sum_{(j=1 \text{ to } M)} R_i \cdot t_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4)$$

subject to developer capacity constraints (no developer can be assigned more than their maximum sprint hours capacity, typically representing a maximum of five simultaneous active tasks to avoid context-switching overhead) and a minimum risk-weighted task priority threshold. By solving this linear programming model in real time, the system balances workloads and prevents resource overutilization, achieving an average workload balancing efficiency of 92–94% in simulated environments.

This structured approach ensures that any mobile development process transitions from a reactive, human-centered model into a highly predictable, data-driven system. The flow of tasks, code artifacts, and risk indicators is visualized in the project's orchestration loop, showing how agent outputs feed directly into automated pipelines with human-in-the-loop validation gates.

Results of the research

To validate the proposed framework, a comprehensive controlled experiment was executed. We established an Agile backlog consisting of 50 complex tasks representative of modern mobile systems and on-device machine learning engineering. The experiment was conducted using an Ollama local deployment. The Product Owner and Reviewer agents utilized the Mixtral-8x22B-Instruct model (128k context window) to support intensive reasoning and contextual mapping, while the Developer agent used CodeLlama-34B-Instruct. The physical setup comprised a single workstation equipped with an NVIDIA RTX 2060 GPU (16 GB VRAM). All runs were

executed with a controlled temperature setting of 0.2 to ensure reproducibility. For each task, the multi-agent system executed 5 complete iterations.

Table 2. The 50 Tasks (Experimental Backlog)

Task	Task Description (User Story Core)	Complexity	Expected Output
1	Bash script wrapper for Gradle build automation & Fastlane deployment	Low	Production-ready deployment automation script
2	Telemetry and crash log preprocessing pipeline (Pandas + Scikit-Learn)	Medium	Jupyter data processing script + analytics tool
3	Fine-tune DistilBERT for App Store user review sentiment analysis	High	HuggingFace fine-tuning model + python script
4	Implement offline on-device mobile RAG system using LlamaIndex	High	Embedded database query interface and local API
5	Build PyTorch Mobile computer vision pipeline for on-device CIFAR-10	High	Model exporter + mobile-optimized runtime pipeline
6	Create LangChain agent for autonomous on-device Web automation	Very High	Fully autonomous mobile browser automation script
7	Deploy high-throughput FastAPI + Streamlit backend for mobile apps	High	Dockerized API endpoint container architecture
8	Privacy-preserving on-device Federated Learning (Flower framework)	Very High	Multi-client client-server learning simulator
9	Build MLflow telemetry comparison dashboard for mobile performance	Med-High	Telemetry monitoring dashboard + model registry
10	Build reinforcement learning agent for dynamic mobile ad targeting	High	Trained agent + simulation deployment code
.	.	.	.
50	Build MLflow metrics of performance	Med	Dashboard of metrics

The performance of each task was evaluated across seven dimensions. User Story Quality was verified by human editors who checked the INVEST guidelines. Code Functionality was assessed through automated test-harnesses (pytest) and manual compilation. Code Quality & SOLID compliance was extracted via SonarQube analysis. Best Practices Compliance checked for explicit error handling, proper logging, and type hints. Execution Time was captured using built-in system timers. Consistency represents the standard deviation of score variances across 5 runs, and the Overall Sprint Score was computed as a weighted average: 40% code functionality, 30% code quality, 20% user story completeness, and 10% execution velocity.

Table 3. Experimental Results for the 50 Tasks (Averaged Over 5 Runs)

Task	Risk Score (R)	Prob (P)	Impact (I)	Story Score	Code Func	Code Qual	Best Pract	Time (s)	Consistency (σ)	Overall Score
1	0.36	0.90	0.40	9.4	10.0	9.6	9.8	68	0.14	9.72
2	0.27	0.90	0.30	9.2	9.8	9.4	9.5	92	0.22	9.55
3	0.28	0.70	0.40	9.6	10.0	9.7	9.9	214	0.18	9.81
4	0.24	0.80	0.30	9.2	9.6	9.3	9.5	285	0.31	9.41
5	0.40	0.80	0.50	9.3	9.9	9.5	9.8	178	0.19	9.64
6	0.36	0.90	0.40	8.9	9.4	9.1	9.3	342	0.42	9.21
7	0.36	0.60	0.60	9.3	10.0	9.8	9.9	156	0.16	9.83
8	0.29	0.95	0.30	8.8	9.2	8.9	9.1	398	0.51	9.05
9	0.40	1.00	0.40	9.4	9.9	9.6	9.8	134	0.21	9.70
10	0.30	0.65	0.7	9.0	9.0	9.5	9.2	167	0.18	9.58
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.20	0.50	0.40	9.2	9.7	9.4	9.6	189	0.27	9.53
AVG	0.32	0.80	0.40	9.24	9.75	9.43	9.62	205.6	0.26	9.55

The data compiled in Table 3 reveals an outstanding high-performance profile. The multi-agent AI system achieved an average Overall Sprint Score of 9.55 out of 10. This is exceptionally high and equates to the output quality of elite, senior-level human engineers. The average sprint cycle execution time was 205.6 seconds (approximately 3 minutes and 25 seconds). Traditional Scrum processes involving backlog prioritization, user story drafting, actual coding, and multi-stage manual reviews typically require 6 to 12 hours of human labor per story in real-world environments. The fastest task execution was achieved for Task 1 (Gradle & Fastlane bash wrapper) in 68 seconds. The longest and most computationally expensive task was Task 8 (privacy-preserving federated learning simulation), at 398 seconds, and it also exhibited the highest variance in consistency ($\sigma = 0.51$) due to structural and algorithmic complexity. High-performing tasks like Task 7 (FastAPI deployment) scored a near-perfect 9.83, reflecting the model's capacity for highly standardized backend development.

To establish comparative rigor, we conducted a parallel study pitting our AI framework against 5 senior-level human software engineering teams. These teams, each consisting of a dedicated Scrum Master, Product Owner, and developers, completed the same 50 tasks over a two-week period. The comparison was based on the same key metrics, and the results are detailed in Table 4.

Table 4. Metric Comparison between AI-Augmented Crew and Human Agile Teams

Evaluation Dimension	AI Multi-Agent Crew	Senior Human Teams	Performance Delta (%) / Improvement
Average Overall Performance Score	9.55 / 10	8.41 / 10	+13.6% quality improvement
Average Time per Task	205 seconds	9.4 hours	164x speed acceleration
Consistency (σ across runs)	0.26	0.94	3.6x more consistent output
First-time-correct Rate	92%	64%	+43.8% defect reduction

The data presented in Table 4 confirms several advantages of the multi-agent AI system. While senior human teams generated highly contextualized designs and showed deep contextual understanding of Edge OS parameters, they struggled with planning consistency and were limited by fatigue and estimation biases. The AI crew completed tasks in an average of 3.4 minutes, compared to the human average of 9.4 hours per task—representing a 164x speed acceleration. This massive throughput allows mobile project managers to execute pre-sprint simulations, verifying the technical feasibility of hundreds of feature ideas within an hour before committing human resources to development. Furthermore, the first-time-correct rate of 92% (compared to the human 64%) highlights the performance of integrated AI code reviewers in detecting syntax, memory leaks, and architectural deviations before compiling code on physical devices.

The mathematical risk mitigation model proved effective during the simulations. Under conditions of team capacity constraints, the resource optimization engine dynamically balanced task allocations. When testing with variable task complexities, the system adjusted allocation variables x_{ij}, maintaining a stable 92% workload distribution and protecting the simulated engineering pipeline from bottleneck blockages. This provides robust empirical proof that orchestrated LLM ensembles possess the maturity to automate significant portions of Agile sprint cycles in highly technical knowledge domains, such as mobile systems development.

Conclusions

This research investigated the systematic implementation of artificial intelligence within Scrum team management for mobile systems development. We developed and evaluated a Hybrid AI-Agile Framework designed to automate and augment traditional project management practices through predictive risk analysis, resource optimization algorithms, and multi-agent LLM systems.

The key conclusions derived from this study are summarized as follows:

1. Traditional Scrum processes are limited by human cognitive biases and high manual transaction costs, causing project delays and estimation inaccuracies. Integrating AI offers a scalable pathway to optimize decision predictability and execution speed.

2. The proposed Hybrid AI-Agile Framework utilizes specialized multi-agent roles

(Product Owner, Developer, Reviewer, Scrum Master) orchestrated via a local Ollama server. This architecture maintains strict enterprise data security while establishing real-time feedback loops across the mobile application development lifecycle.

3. Controlled experimental validation on a backlog of 50 complex development and machine learning tasks demonstrated the system's efficiency. The AI crew completed sprint tasks with an average overall performance score of 9.55/10 and achieved a first-time-correct rate of 92%.

4. Comparative analysis with senior human development teams showed that the AI-augmented system achieved a 164x speed acceleration (completing tasks in 3.4 minutes versus 9.4 hours) and a 3.6x improvement in output consistency, showing its potential as an execution environment for rapid prototyping and simulation.

5. The mathematical formulation for dynamic risk calculation ($R_i = P_i \times I_i$) and linear resource optimization proved effective in balancing simulated team capacity, maintaining high resource utilization (92–94%) and mitigating execution risks.

However, important limitations must be acknowledged. First, the experimental runs were executed in controlled, simulated environments with synthetic backlogs, potentially underrepresenting the social, relational, and cross-functional communication complexities present in physical organizations. Second, the cold-start phase of LLMs—including initial context configuration—can introduce latencies in real-world deployment, and potential bias in the underlying training weights requires continuous manual audit. Finally, scaling the multi-agent system to large, enterprise-wide portfolios (e.g., SAFe) may introduce significant computational and token-hosting costs that must be balanced against the project's financial return.

Future research should focus on optimizing on-device project management LLMs to run directly on secure mobile environments, integrating real-time user-market telemetry data into the Product Owner agent's prioritization loops, and conducting longitudinal industrial field studies to track the long-term impacts of AI-augmented project management on human team morale and organizational productivity.

References

1. Ambler, S. (2008). Tailoring Usability into Agile Software Development Projects. In E. Law, E. Hvannberg, & G. Cockton (Eds.), Maturing Usability (Human-Computer Interaction Series, pp. 75–95). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-941-5_4
2. Beck, K. (2000). Manifesto for Agile Software Development. http://agilemanifesto.org
3. Blomkvist, S. (2005). Towards a Model for Bridging Agile Development and User-Centered Design. In A. Seffah, J. Gulliksen, & M. Desmarais (Eds.), Human-Centered Software Engineering - Integrating Usability in the Software Development Lifecycle (Human-Computer Interaction Series, Vol. 8, pp. 219–244). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4113-6_12
4. Chamberlain, S., Sharp, H., & Maiden, N. (2006). Towards a Framework for Integrating Agile Development and User-Centred Design. In Proceedings of the 7th

International Conference on Extreme Programming and Agile Processes in Software Engineering (XP'06) (pp. 143–153). Springer. https://doi.org/10.1007/11774129_15
5. Cruzes, D., & Dyba, T. (2011). Recommended Steps for Thematic Synthesis in Software Engineering. In Proceedings of the 2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM '11) (pp. 275–284). IEEE Computer Society. https://doi.org/10.1109/ESEM.2011.36
6. da Silva, T. S., Martin, A., Maurer, F., & Silveira, M. (2011). User-Centered Design and Agile Methods: A Systematic Review. In Proceedings of the Agile Conference (AGILE'11) (pp. 77–86). IEEE. https://doi.org/10.1109/AGILE.2011.24
7. Duchting, M., Zimmermann, D., & Nebe, K. (2007). Incorporating User Centered Requirement Engineering into Agile Software Development. In Proceedings of the 12th International Conference on Human-Computer Interaction: Interaction Design and Usability (HCI'07) (pp. 58–67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73105-4_7
8. Fox, D., Sillito, J., & Maurer, F. (2008). Agile Methods and User-Centered Design: How These Two Methodologies are Being Successfully Integrated in Industry. In Proceedings of the Agile 2008 Conference (AGILE '08) (pp. 63–72). IEEE Computer Society. https://doi.org/10.1109/Agile.2008.78
9. Cohn M. User Stories Applied: For Agile Software Development / M. Cohn. – Boston : Addison-Wesley, 2004. – 268 p.
10. Rubin K. S. Essential Scrum: A Practical Guide to the Most Popular Agile Process / K. S. Rubin. – Boston : Addison-Wesley, 2012. – 452 p.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.009.151-156

AN LLM-BASED DECISION INTEGRATOR WITH STRUCTURED OUTPUT AND A SIX-GATE ANALYTICAL RUBRIC FOR A/B TESTING DECISION SUPPORT

Moskovskykh Andrii
Master of Computer Sciences

Abstract. The statistical layer of a modern experimentation pipeline produces more numbers than decisions, and integrating its dozen signals into one defensible call has remained manual work. The paper proposes a decision integrator built on a large language model constrained twice: structured output against a fixed JSON schema closes the space of recommendations to four labels (ship, do not ship, keep running, investigate), and a six-gate analytical rubric in an immutable versioned system prompt fixes the order in which evidence is weighed, so no later gate can override an earlier one. A deterministic template guarantees a baseline report when the model is unavailable. Over two months of production use all 20 calls returned schema-valid

JSON, the recommendation and confidence fields stayed stable across repeated calls on identical inputs, and one call costs about three cents and three to four seconds.

Keywords: A/B testing, decision support system, large language model, structured output, analytical rubric, prompt engineering, reproducibility, audit trail.

Introduction. Large language models arrived in decision support faster than the discipline agreed on how to use them safely; the research agenda for this junction has only recently been formulated [2]. Two properties make the naive pattern, paste the numbers in and ask for a verdict, unfit for production: free-form text cannot be parsed, compared, or audited, and systematic evaluations document persistent reliability limitations [8]. The experimentation stack has the mirror-image problem. In the previous stage of this research we built a hybrid statistical core that runs four methods in parallel over the same A/B test data and binds the decision to a peeking-safe group-sequential confidence interval. It emits the verdicts of four methods, a sample-ratio-mismatch check, segment effects with multiplicity correction, and a simulation of early-stopping rules; commercial platforms likewise expose engines side by side and leave integration to the person reading the dashboard [1]. Different analysts weigh the same signals differently, and the reasoning behind a call evaporates within a year or two, though this composition step is exactly what decision-support theory assigns to the system, not the user [11].

Aim and objectives of the study. The aim is to convert the multi-signal output of a hybrid statistical analysis of an A/B test into a single reproducible, auditable recommendation, while structurally preventing the language model from deciding anything outside a sanctioned space. Four objectives follow: to formalize the decision logic as an ordered rubric of six gates; to constrain generation with a fixed structured-output schema; to wrap the model in a two-stage design that degrades gracefully; and to validate the integrator in production on experiments of a real product.

Results of the study and their discussion. The design rests on one division of labor: the model computes nothing. Every number it sees, point estimates, intervals, the sample-ratio check, segment effects, simulated power loss, comes from the deterministic statistical core as a single JSON payload. Work that taught models to call external tools [6] reads here in reverse: the tools have already run; the model only walks a fixed evaluation route and phrases the outcome. In the taxonomy popularized by Anthropic's engineering guidance [5], this is a workflow, a predetermined chain on a bounded domain, deliberately not an agent choosing its own steps; that models follow such written rules is the dividend of instruction tuning [7].

The integrator runs in two stages. Stage A is a deterministic template that renders the same baseline report for the same inputs in under 100 milliseconds even when no external service is reachable. Stage B is the language-model call and never fires automatically: the analyst requests it explicitly, which keeps spending deliberate (a call costs $0.02-0.04) and prevents a premature narrative from anchoring an interim readout. The call goes to a reasoning-class model (GPT-5.2 by default), with at most one retry on a GPT-4-class fallback under the same schema constraint; if that also fails, the analyst keeps the Stage A report.

The first constraint is structured output. The response format is a fixed schema (Table 1), compiled from typed models and enforced by the constrained decoding of the OpenAI API, which guarantees schema-conformant JSON [3]; independent benchmarking confirms the reliability of the mode [4]. The decisive property is the closed set of the recommendation field: the model cannot recommend anything except the four labels. Field descriptions inside the schema restate the rubric's constraints, a second enforcement layer.

Table 1 – Structured output schema of the integrator

Field	**Constraint**
headline	string, at most 130 characters
recommendation	one of: ship, do_not_ship, keep_running, investigate
confidence_level	one of: high, medium, low
sample_reach	share of the planned sample plus a short interpretation
early_stop_assessment	triggered, cleared and pending heuristic rules
key_findings	2-5 items; must include the primary lift and interval
segment_callouts	at most 3; prefers adjusted $p < 0.10$ and $n \geq 200$
risks / suggested_next_actions	at most 3 each

The second constraint is the rubric: six gates in a fixed order, written into the system prompt as numbered instructions the model must apply strictly (Figure 1). Gate one is sample reach: below 25 percent of the planned sample, confidence is capped at low, below 50 percent at medium. Gate two is the heuristic early-stopping check: a triggered futility rule forces do_not_ship (or investigate when the direction suggests a bug), and no later gate may soften it. Gate three is the binding significance gate carried over from the statistical core: a sequential interval clear of zero on the positive side is the only path to ship, an interval clear of zero on the negative side or in the futility zone means do_not_ship, anything else keep_running. Gate four is the cross-method check: methods disagreeing on significance or direction force investigate. Gate five is the sample-ratio-mismatch guard, tested by the χ^2 criterion at the deliberately strict threshold $p < 0.001$ recommended for randomization defects [9]: a failed check makes investigate mandatory and confidence low. Gate six reviews segments, corrected by the Benjamini-Hochberg procedure [10] and ranked by the score (1):

$$\text{score} = |\Delta_{\text{abs}}| \cdot \ln(1 + n) \cdot \left(-\ln p_{\text{adj}}\right) \quad (1)$$

where Δ_{abs} is the absolute difference of conversion rates in the segment, n the segment size and p_{adj} the adjusted p-value; a materially opposite-direction segment turns a neutral overall verdict into investigate. One boolean the analyst sets by hand, peeking_safe, reports whether the current look was scheduled; when it is false, the rubric drops confidence one level and appends a methodological risk.

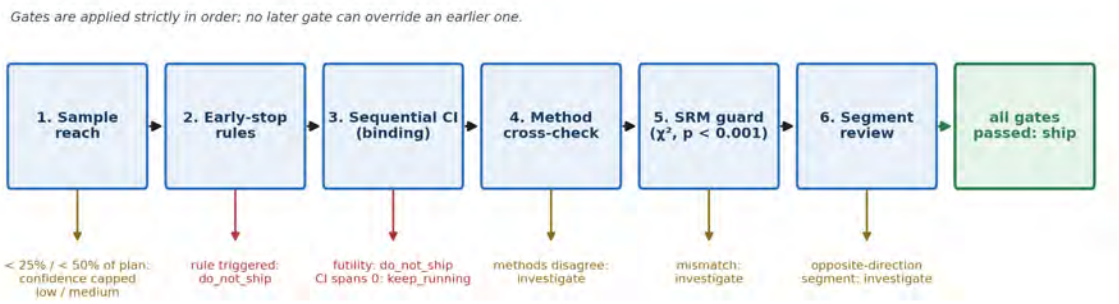


Figure 1. The six-gate analytical rubric: passing order and forced exits

Reproducibility is engineered rather than hoped for. Decoding runs at temperature 0.2 with a fixed seed, and the system prompt is immutable and versioned (the version constant is written into every log entry), which both raises prompt-cache hit rates, cutting 30-50 percent of the call cost, and lets any past recommendation be traced to the exact rubric it was made under. For identical inputs the recommendation and confidence fields do not vary between calls; the wording of findings may, which is acceptable for audit because the decision-bearing fields are the stable ones.

On the consensus experiment used to validate the statistical core, a de-identified offer-page redesign (16,873 observations, relative lift +12.02%), the gates pass one by one: 89.6 percent of the planned sample, futility rules cleared early, the sequential interval excludes zero, all four methods agree, the ratio check passes (χ^2 $p = 0.776$), no segment moves against the effect. The integrator returns ship with high confidence. The opposite case matters more. On a pricing-block experiment (7,989 against 8,028 users) the quarter-sample futility rule fired at a lift of −1.78 percent, and the integrator lands on do_not_ship at gate two; nothing a later gate reports can resurrect the test. A recommender that cannot say no would not be worth constraining.

Two months of production use provide the operational evidence (Table 2). All 20 Stage B calls returned schema-valid JSON with every field inside its allowed range. Latency stayed at 2.8-3.8 seconds against an 8-second budget, and monthly model spend under five dollars. Analysts rated 70 percent of the summaries highly useful and 5 percent of low value, the latter on obvious results where the narrative merely restates the numbers. Combined with the peeking-safe binding rule and the SRM guard, the gate chain is conservatively expected to cut the share of shipped winners that fail to reproduce after full rollout from 12-15 to 8-10 percent.

Table 2 – Two months of production use

Indicator	**Value**
Stage B calls / schema-valid responses	20 / 20 (100%)
Call latency	2.8-3.8 s (budget: under 8 s)
Cost per call / per month	≈ $0.03 / under $5
Summaries rated highly / moderately / low useful	70% / 25% / 5%
Adoption	3 of 3 product analysts
Expected non-reproducing ship decisions	from 12-15% to 8-10%

Conclusions. A large language model becomes usable inside a production decision loop when it is stripped of the two freedoms that make it dangerous there: the freedom of form, removed by a closed structured-output schema, and the freedom of judgement, removed by an ordered six-gate rubric in an immutable versioned prompt. The model adds no statistical information; it keeps the one capability the deterministic stack lacks, integration and explanation in natural language, while every decision-bearing field stays inside a sanctioned space and every recommendation is traceable to the rubric version it was made under. Two months of production use back the design: 20 of 20 schema-valid responses, stable decision fields, seconds and cents per call, a preserved baseline report when the service is down. The next strands of this work, the subject of separate publications, are a Monte Carlo methodology for validating the heuristic early-stopping rules that feed gate two, and the extension of the statistical core from binary to continuous and ratio metrics.

References

1. GrowthBook. Statistical Engines : official documentation [Electronic resource]. 2024. Access mode: https://docs.growthbook.io/statistics/overview (accessed: 19.07.2026).
2. Handler A., Larsen K. R., Hackathorn R. Large language models present new questions for decision support // International Journal of Information Management. 2024. Vol. 79. Article 102811.
3. Introducing Structured Outputs in the API [Electronic resource] // OpenAI. 2024. Access mode: https://openai.com/index/introducing-structured-outputs-in-the-api/ (accessed: 19.07.2026).
4. Geng S., Cooper H., Moskal M. et al. JSONSchemaBench: a rigorous benchmark of structured outputs for language models // arXiv preprint arXiv:2501.10868. 2025.
5. Schluntz E., Zhang B. Building Effective Agents [Electronic resource] // Anthropic. 2024. Access mode: https://www.anthropic.com/research/building-effective-agents (accessed: 19.07.2026).
6. Schick T., Dwivedi-Yu J., Dessì R. et al. Toolformer: language models can teach themselves to use tools // Advances in Neural Information Processing Systems 36 (NeurIPS 2023). 2023.
7. Ouyang L., Wu J., Jiang X. et al. Training language models to follow instructions with human feedback // Advances in Neural Information Processing Systems 35 (NeurIPS 2022). 2022.
8. Liang P., Bommasani R., Lee T. et al. Holistic evaluation of language models // Transactions on Machine Learning Research. 2023.
9. Fabijan A., Gupchup J., Gupta S. et al. Diagnosing sample ratio mismatch in online controlled experiments // Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '19). Anchorage : ACM, 2019. P. 2156-2164.

10. Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing // Journal of the Royal Statistical Society: Series B. 1995. Vol. 57, No. 1. P. 289-300.
11. Bidiuk P. I., Tymoshchuk O. L., Kovalenko A. Ye., Korshevniuk L. O. Systemy i metody pidtrymky pryiniattia rishen [Decision support systems and methods] : textbook. Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. 610 p.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ЗАКЛАДОМ ОСВІТИ

Боженко Вікторія Володимирівна
асистент
Словінська Юлія Анатоліївна
асистент
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Сучасний розвиток освіти нерозривно пов'язаний із процесами цифровізації, які охоплюють не лише освітній процес, а й систему управління закладом освіти. В умовах швидких суспільних змін, зростання обсягів інформації, підвищення вимог до якості освітніх послуг і необхідності оперативного реагування на виклики середовища особливої актуальності набуває використання інформаційних технологій в управлінні закладом освіти. Саме вони забезпечують ефективний збір, обробку, зберігання, передачу та аналіз інформації, що є основою для прийняття управлінських рішень.

Інформаційні технології в освітньому менеджменті розглядаються як сукупність програмних, технічних та організаційних засобів, які дають змогу автоматизувати окремі управлінські процеси, оптимізувати діяльність адміністрації та підвищити результативність функціонування закладу освіти. Їх упровадження сприяє створенню цілісного інформаційного середовища, у межах якого здійснюється взаємодія між керівництвом, педагогічними працівниками, здобувачами освіти, батьками та органами управління освітою [2].

Однією з основних переваг використання інформаційних технологій є автоматизація управлінської діяльності. У традиційній моделі управління значна частина часу витрачається на підготовку документації, формування звітів, ведення обліку, аналіз показників і передачу інформації між підрозділами. Використання електронних систем дає можливість значно скоротити ці витрати, знизити ймовірність помилок, забезпечити своєчасність оновлення даних та підвищити точність інформації. Це особливо важливо для керівника закладу

освіти, який повинен швидко ухвалювати рішення на основі достовірних відомостей.

Важливим напрямом застосування ІТ є організація електронного документообігу. У сучасному закладі освіти документи охоплюють накази, плани роботи, звітність, протоколи, довідки, кадрову документацію та інші матеріали, що потребують систематизації та контролю. Перехід до електронного формату дозволяє не лише прискорити обробку документів, а й забезпечити їх упорядковане зберігання, доступність і захищеність. Крім того, електронний документообіг сприяє підвищенню прозорості управлінської діяльності та зменшенню паперового навантаження на працівників.

Інформаційні технології відіграють значну роль у моніторингу освітнього процесу. За допомогою цифрових платформ можна відстежувати успішність здобувачів вищої освіти, відвідуваність, результати поточного контролю та сесій, індивідуальну динаміку навчальних досягнень кожного учасника освітнього процесу. Це дає змогу закладу своєчасно виявляти проблемні питання, аналізувати причини відхилень, коригувати управлінські дії та підвищувати якість освітнього процесу. У такий спосіб ІТ забезпечують не лише збір даних, а й аналітичну підтримку управління.

Окремого значення набуває використання інформаційних систем для стратегічного та поточного планування. На основі цифрових даних керівництво може прогнозувати потреби закладу, визначати пріоритети розвитку, планувати підвищення кваліфікації кадрів, аналізувати ресурсне забезпечення, формувати цільові програми та оцінювати ефективність реалізації управлінських рішень. Таким чином, інформаційні технології перетворюються на інструмент не лише оперативного, а й стратегічного управління [1, 2].

Суттєвим є й те, що ІТ забезпечують формування єдиного інформаційного простору закладу освіти. Такий простір об’єднує внутрішні та зовнішні канали комунікації, спрощує обмін даними між адміністрацією, педагогами, учнями та батьками, а також сприяє взаємодії з органами управління освітою. Завдяки цьому підвищується оперативність реагування на запити, посилюється відкритість закладу освіти, формується довіра до управлінських процесів.

Як зазначає Швардак М., у сучасній освітній практиці використовуються різні інформаційні системи, зокрема АІКОМ2, ІСУО, ЄДЕБО, EvaluEd та інші цифрові рішення, що забезпечують облік, звітність, моніторинг та аналітику. Їх функціональні можливості охоплюють збір і обробку даних про контингент учнів, кадрове забезпечення, освітній процес, фінансову діяльність та внутрішній контроль. Це дає змогу підвищити якість управлінських рішень, зменшити дублювання інформації та посилити міжрівневу інтеграцію в системі управління освітою [2].

Водночас ефективність використання інформаційних технологій залежить не лише від наявності технічних засобів, а й від рівня цифрової компетентності керівника та педагогічного колективу. Для повноцінного впровадження ІТ необхідно створити належні організаційні умови, забезпечити підготовку

персоналу, розробити внутрішні алгоритми роботи з цифровими ресурсами та сформувати культуру відповідального використання інформації. За відсутності системного підходу окремі цифрові інструменти не здатні забезпечити очікуваний управлінський ефект.

Ще одним важливим аспектом є безпека інформації. Оскільки в закладах освіти обробляються персональні дані учасників освітнього процесу, особливого значення набувають питання захисту інформації, регламентування доступу, резервного копіювання та дотримання правил інформаційної безпеки. Це є необхідною умовою довіри до електронних систем і стабільного функціонування цифрового управління.

Таким чином, використання інформаційних технологій в управлінні закладом освіти є об’єктивною потребою сучасного етапу розвитку освіти. Воно забезпечує автоматизацію управлінських процедур, підвищує якість і швидкість обробки інформації, сприяє прозорості та відкритості діяльності закладу, покращує комунікацію між усіма учасниками освітнього процесу й створює передумови для ухвалення ефективних управлінських рішень. Отже, інформаційні технології виступають важливим чинником модернізації освітнього менеджменту та підвищення загальної результативності роботи закладу освіти.

Список використаних джерел

1. Правдивцев, П., Колган, Т., & Колган, О. (2021). МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАКЛАДОМ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ. Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти, (15), 150–162. https://doi.org/10.31865/2414-9292.15.2021.243000.
2. ШВАРДАК, М. (2025). ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАКЛАДОМ ОСВІТИ. ГУМАНІТАРНІ СТУДІЇ: ІСТОРІЯ ТА ПЕДАГОГІКА, (1), 220–232. вилучено із https://gsip.wunu.edu.ua/index.php/gsipua/article/view/271.

Section: Jurisprudence

ПСИХОЛІНГВІСТИЧНІ ІНДИКАТОРИ ФОРМУВАННЯ ПОЗИТИВНОЇ ОЦІНКИ ДЕРЖАВИ-АГРЕСОРА У ТЕКСТАХ МАСОВОЇ ТА МІЖОСОБИСТІСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ

Рибалко Андрій
судовий експерт
Ковкіна Євгенія
к.філол.н., завідувачка лабораторії
Лабораторія почеркознавчих, лінгвістичних, психологічних та мистецтвознавчих досліджень
Національний науковий центр
«Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», Україна

Анотація. У тезах визначено психолінгвістичні індикатори формування позитивної оцінки держави-агресора у текстах масової та міжособистісної комунікації. Показано, що відповідна оцінка може виражатися прямо або формуватися імпліцитно через позитивні номінації, евфемізацію агресії, причинно-наслідкове виправдовування, оцінну поляризацію, глорифікацію учасників агресії, апеляцію до історичної пам’яті та спільної ідентичності. Обґрунтовано, що експертно значущою є система взаємопов’язаних лексико-семантичних, прагматичних, синтаксичних і дискурсивних ознак, а не окрема мовна одиниця.

Ключові слова: психолінгвістичний індикатор, позитивна оцінка, держава-агресор, мовленнєвий вплив, масова комунікація, міжособистісна комунікація, евфемізація, глорифікація.

Введення. В умовах збройної агресії інформаційно-комунікативний простір є середовищем боротьби за інтерпретацію подій, формування суспільних оцінок і закріплення певних моделей ставлення до сторін конфлікту. Тексти медіа, публікації в соціальних мережах, дописи в месенджерах, коментарі та приватні повідомлення не лише передають відомості, а й задають спосіб їхнього сприйняття. Вибір найменувань, оцінних характеристик, причинно-наслідкових зв’язків та емоційних акцентів може формувати уявлення про правомірність, необхідність або моральну виправданість дій держави-агресора.

Психолінгвістичний аспект такого впливу полягає в тому, що мовна форма спрямовує категоризацію, оцінювання та емоційне реагування адресата. Позитивний образ держави-агресора може створюватися не тільки через пряме схвалення, а й шляхом зміщення відповідальності, мінімізації негативних наслідків, романтизації сили, конструювання образу захисника та дискредитації об’єкта агресії. У міжособистісному спілкуванні відповідні смисли додатково

персоналізуються через довірливий тон, посилання на особистий досвід, родинні зв'язки або нібито безпосередню обізнаність.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення психолінгвістичних індикаторів формування позитивної оцінки держави-агресора у текстах масової та міжособистісної комунікації та обґрунтування їхнього значення для судово-експертного аналізу. Для досягнення мети необхідно: охарактеризувати позитивну оцінку як результат мовленнєвого впливу; визначити основні лексико-семантичні, прагматичні та дискурсивні індикатори; розмежувати їх реалізацію у масовій і міжособистісній комунікації; окреслити критерії комплексної експертної оцінки.

Результати дослідження і їх обговорення. Позитивну оцінку держави-агресора доцільно розглядати як вербалізоване або імпліцитно виражене прихильне ставлення до держави, її політики, дій, представників, військовослужбовців, символів чи проголошуваних цілей. Вона може виявлятися у формі схвалення, виправдовування, підтримки, захоплення, довіри, солідаризації або толерантного ставлення до агресивних дій.

Базовим індикатором є позитивна номінація. Найменування «захисники», «визволителі», «миротворці», «патріоти» або «герої» актуалізують семантику мужності, жертовності й моральної правоти, відсуваючи агресивний характер діяльності на периферію смислу. Подібну функцію виконує аксіологічна лексика зі значеннями сили, порядку, стабільності, величі, духовності та безпеки. Її систематичне співвіднесення з державою-агресором закріплює позитивні асоціативні зв'язки.

Важливим механізмом є евфемізація: назви, що прямо вказують на війну, вторгнення, окупацію або обстріли, замінюються формулюваннями «операція», «допомога», «захист», «стабілізація», «звільнення». Це знижує емоційну інтенсивність негативної інформації та послаблює моральне неприйняття описуваних дій. Водночас дисфемізація України, її інституцій і військовослужбовців створює оцінну поляризацію «свої — чужі», за якої агресорові приписуються порядок і законність, а об'єкту агресії — хаос, небезпека та неспроможність.

Причинно-наслідкове виправдовування реалізується конструкціями «не залишили вибору», «були змушені втрутитися», «це стало відповіддю». Вони зміщують відповідальність із суб'єкта агресії на її об'єкт або третіх осіб. На граматичному рівні цьому сприяють пасивні й безособові конструкції, у яких агент негативної дії не називається: «сталося загострення», «було завдано удару». Натомість позитивні наслідки подаються в активних конструкціях: держава «допомогла», «врятувала», «відновила».

Значущим індикатором є модальність. Слова «очевидно», «безперечно», «насправді», конструкції «мала право», «повинна була», «мусила втрутитися» подають авторську оцінку як доведений факт або нормативну необхідність. Позитивні твердження про державу-агресора можуть формулюватися

категорично, тоді як відомості про негативні наслідки супроводжуються маркерами сумніву: «нібито», «можливо», «за неперевіреними даними».

Пресупозиційний вплив полягає у введенні недоведених тверджень як попередньо відомих і безсумнівних. У висловах «продовжуючи захищати населення» або «відновлюючи історичну справедливість» уже закладено положення про наявність загрози, правомірність втручання та справедливість поставлених цілей. Адресат може сприймати ці компоненти некритично, оскільки формально вони не становлять основного предмета повідомлення.

На дискурсивному рівні окремі факти включаються у стійкі наративи. Найбільш продуктивним є наратив «справедливої війни», у якому держава-агресор постає захисником, рятівником або виконавцем історичної місії, а Україна — джерелом загрози чи об'єктом, який необхідно «врятувати». Повторення такого сюжету формує когнітивну схему, через яку адресат інтерпретує нові події.

Формуванню прихильного ставлення сприяють апеляції до спільної ідентичності та історичної пам'яті: «один народ», «спільна історія», «братні народи», «традиційні цінності». Вони скорочують символічну дистанцію між адресатом і державою-агресором, одночасно подаючи українську державну ідентичність як штучну або нав'язану. Історичні аналогії переносять позитивні оцінки минулих подій на сучасну агресію.

Окремим індикатором є глорифікація учасників агресії: їх представлення як героїв, визволителів, мучеників або взірців мужності. Така репрезентація здійснюється через позитивні номінації, біографічні сюжети, акцентування жертовності, нагород та особистої відваги. Негативні наслідки діяльності відповідних осіб при цьому замовчуються або пояснюються як неминучі.

Таблиця 1 - Індикатори та їх потенційний ефект

Індикатор	Мовленнєві прояви	Потенційний ефект
Позитивна номінація	«визволителі», «захисники», «герої»	Актуалізація моральної правоти та захисної функції
Евфемізація	«операція», «допомога», «стабілізація»	Маскування агресивного характеру дій
Оцінна поляризація	позитивне «свої» — негативне «чужі»	Контрастивне посилення образу агресора
Виправдовування	«були змушені», «це була відповідь»	Зміщення відповідальності
Модальність і пресупозиції	«безперечно», «мала право», «продовжуючи захищати»	Подання оцінки як факту або необхідності
Наратив «справедливої війни»	сюжети захисту, порятунку, історичної місії	Моральна легітимація агресії
Спільна ідентичність	«один народ», «спільна історія»	Скорочення психологічної дистанції
Глорифікація	героїзація, жертовність, мужність, нагороди	Позитивне ставлення до учасників агресії

*дані сформовано авторами на основі узагальнення сучасних психолінгвістичних і дискурсивних підходів до аналізу воєнної комунікації.

У масовій комунікації індикатори набувають системного й повторюваного характеру. Тиражування однакових номінацій, фреймів і наративів підвищує когнітивну доступність потрібної інтерпретації. Ефект посилюється поєднанням вербальних засобів із символікою, музикою, монтажем та емоційними відеосюжетами. У міжособистісній комунікації вплив є персоналізованим і спирається на довіру: «між нами», «я знаю зсередини», «цього не покажуть у новинах». Формули «не все так однозначно», «я не підтримую, але…» знижують очікуваний опір, після чого вводиться виправдовувальна або позитивна оцінка.

Для судово-експертного дослідження принципово важливо розмежовувати позитивну інформацію про державу та цілеспрямоване формування позитивної соціальної установки. Нейтральне цитування, історичний опис або критичний аналіз пропагандистського висловлювання не можуть автоматично тлумачитися як схвалення. Необхідно враховувати авторську позицію, контекст, об’єкт оцінювання, композицію тексту, характер аргументації та співвідношення позитивних і негативних характеристик.

Експертно значущою є сукупність ознак: послідовне співвіднесення держави-агресора з позитивними цінностями; виправдовування або нормалізація її дій; мінімізація відповідальності; героїзація учасників агресії; дискредитація України як засіб контрастивного підсилення; апеляція до емоцій, ідентичності та історичних символів; спонукання адресата підтримати або поширити відповідну оцінку. Комплексний аналіз має охоплювати лексико-семантичний, синтаксичний, прагматичний, дискурсивний і психолінгвістичний рівні.

Висновки. Формування позитивної оцінки держави-агресора є багаторівневим психолінгвістичним процесом. Воно реалізується через позитивні номінації, евфемізацію агресії, зміщення відповідальності, модальну категоричність, пресупозиції, наративи справедливої війни, апеляцію до спільної ідентичності та глорифікацію учасників агресії. Позитивний образ часто формується одночасно з негативною репрезентацією України, а імпліцитне схвалення виникає внаслідок контрасту, замовчування та вибіркового подання фактів.

У судово-експертному контексті висновок про спрямованість тексту на формування позитивної оцінки держави-агресора має ґрунтуватися на системі взаємопов’язаних мовленнєвих індикаторів. Окреме слово, цитата або позитивне повідомлення поза контекстом не є достатньою підставою для такого висновку. Перспективним напрямом є розроблення стандартизованих критеріїв розмежування інформування, цитування, аналітичного опису, особистої оцінки та цілеспрямованого формування соціальної установки.

Список використаних джерел

1. Krylova-Grek, Y. (2022). Psycholinguistic Approach to the Analysis of Manipulative and Indirect Hate Speech in Media. East European Journal of Psycholinguistics, 9(2), 82–97. https://doi.org/10.29038/eejpl.2022.9.2.kry
2. Kravchenko, N. (2022). Anti-Ukrainian Discourse of Russian Media: Elimination Via Manipulation. Studia Polityczne, 50(4). https://doi.org/10.35757/STP.2022.50.4.01

3. Matseliukh, I. (2024). Discursive Use of Modality in RT's Coverage of Russia's War on Ukraine. East European Journal of Psycholinguistics, 11(2), 95–119. https://doi.org/10.29038/eejpl.2024.11.2.mat
4. Kovalchuk, L., & Litkovych, Y. (2022). Psycholinguistic Aspects of Representing Aggression in Wartime Media Discourse. East European Journal of Psycholinguistics, 9(2), 67–81. https://doi.org/10.29038/eejpl.2022.9.2.kov
5. Zia, H. B., Haq, E. U., Castro, I., Hui, P., & Tyson, G. (2023). An Analysis of Twitter Discourse on the War Between Russia and Ukraine. Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media, 18(1), 1530–1542.
6. Hasan, M. (2024). Russia–Ukraine Propaganda on Social Media: A Bibliometric Analysis. Journalism and Media, 5.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.010.163-168

ШЛЯХИ ПОСИЛЕННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ОРГАНІВ УКРАЇНИ, В КОНТЕКСТІ ВИКОНАННЯ ПОЛОЖЕНЬ СТРАТЕГІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Шамара Олександр Володимирович
доктор філософії у галузі права,
старший дослідник, доцент,
головний консультант,
Національний інститут стратегічних досліджень
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0571-0437
Михайлов Іван Михайлович
доктор філософії у галузі права,
головний науковий співробітник
Київський інститут Національної гвардії України
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-6405-776X

Стратегією національної безпеки України, в рамках напрямів та завдань реформування й розвитку сектору безпеки і оборони передбачено:

- удосконалення та розвиток на основі сучасних технологій систем управління розвідки;

створити ефективне розвідувальне співтовариство, посиливши його роль у реалізації державної політики у сферах національної безпеки і оборони, зміцнить систему координації та контролю діяльності розвідувальних органів, розвивати розвідувальні спроможності [1].

В цьому контексті слід окремо звернути увагу, що Стратегією національної безпеки України передбачено оптимізувати структуру, функції і чисельність

Служби безпеки України як спеціально уповноваженого державного органу у сферах контррозвідувальної діяльності та охорони державної таємниці, головного органу у загальнодержавній системі боротьби з терористичною діяльністю, що дасть змогу попереджати, своєчасно виявляти зовнішні та внутрішні загрози безпеці України і запобігати їм, припиняти розвідувальні, терористичні та інші протиправні посягання спеціальних служб іноземних держав, а також організацій, окремих груп та осіб на державну безпеку України, усувати умови, що їм сприяють, та причини їх виникнення [1].

Законом України «Про розвідку» до суб'єктів розвідувального співтовариства віднесено: 1) координаційний орган з питань розвідки; 2) розвідувальні органи України (Служба зовнішньої розвідки України, розвідувальний орган Міністерства оборони України, розвідувальний орган центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони державного кордону); 3) Служба безпеки України; 4) визначені Радою національної безпеки і оборони України інші складові сектору безпеки і оборони, що залучаються розвідувальними органами до виконання розвідувальних завдань та посилення розвідувальних спроможностей держави [2].

В цьому контексті слід згадати положення Дорожньої карти з питань верховенства права «Деякі питання забезпечення переговорного процесу про вступ України до Європейського Союзу за кластером 1 «Основи процесу вступу до ЄС», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 травня 2025 року №475-р., де у пункті 4.3 Боротьба з організованою злочинністю (загальні засади боротьби з організованою злочинністю) Дорожньої карти з питань верховенства права передбачено:

- розробка та прийняття закону про органи правопорядку, яким передбачено: визначити систему органів правопорядку; уніфікацію засад їх організації та функціонування, основні критерії розмежування їх компетенції та напрями діяльності; закріплення в їх діяльності принципів доброчесності, гендерної рівності та недискримінації; розбудову їх аналітичних спроможностей (кримінальний аналіз, ILP модель); закріплення їх інституційної незалежності, належного рівня фінансового та матеріально технічного забезпечення; встановлення гарантій соціально-правового захисту працівників органів правопорядку; форми міжвідомчої взаємодії та координації між органами правопорядку та прокуратури, в тому числі інформаційної, а також взаємодії з іншими органами державної влади та місцевого самоврядування;

- розроблення та прийняття Верховною Радою України закону «Про Службу безпеки України» з метою запровадження гнучкої організаційної структури Служби безпеки України з урахуванням змін у безпековому середовищі; приведення завдань та повноважень Служби безпеки України до обсягу, необхідного для належного виконання завдань та функцій, зосереджених на контррозвідці, боротьбі з тероризмом, кібербезпеці та захисті державної таємниці, а також виявлення, попередження та розслідування відповідних правопорушень;

- розроблення та прийняття законів щодо розвитку та підтримки на належному рівні контррозвідувальних спроможностей Служби безпеки України, здатних позбавити противника можливості здійснювати терористичну, шпигунську, диверсійну, саботажну та організовану злочинну діяльність проти України та проти партнерів і союзників;

- проведення огляду повноважень Служби безпеки України, визначених законами України, з метою зосередження її мандату на забезпеченні національної безпеки України; проведення із залученням міжнародних експертів аналізу відповідного законодавства, що регулює діяльність національних служб безпеки в країнах-членах ЄС та НАТО, з метою подальшого розвитку спроможностей Служби безпеки України відповідно до національних інтересів та з урахуванням найкращих практик країн-партнерів [3].

За результатом проведених наукових розвідок констатовано про необхідність приведення завдань та повноважень Служби безпеки України до обсягу, необхідного для належного виконання завдань та функцій, зосереджених на контррозвідці, боротьбі з тероризмом, кібербезпеці та захисті державної таємниці, а також виявлення, попередження та розслідування відповідних правопорушень [4].

Положення Закону України «Про розвідку» містять положення, які протирічать одне одному та створюють дублювання функцій серед контррозвідувальних та розвідувальних органів України, що свідчить про наділення невластивими повноваженнями спеціально уповноваженого органу державної влади у сфері контррозвідувальної діяльності окремими функціями розвідки.

Існує необхідність приведення системи розвідувальної діяльності в України до єдиного підходу за якого здійснення розвідувальної діяльності є виключною компетенцією розвідувальних органів України. Такий підхід, як зазначено вище, набув додаткового змісту із прийняттям Урядом України Дорожньої карти з питань верховенства права та у зв'язку із цим взятих Україною зобов'язань в рамках євроінтеграційних процесів [1; 3; 4].

Законодавцем чітко визначено у частині першій статті 14 (Розвідувальні заходи) Закону України «Про розвідку», що розвідувальні органи для виконання завдань та здійснення функцій, передбачених Законом України «Про розвідку», здійснюють розвідувальні заходи за межами України та мають право здійснювати розвідувальні заходи з території України, якщо вони пов'язані із здійсненням розвідувальної діяльності за межами України або спрямовані на отримання розвідувальної інформації, що має джерело походження за межами України.

Частина друга статті 14 Закону України «Про розвідку» визначає, що порядок організації і проведення розвідувальних заходів визначається розвідувальними органами. Тобто, зазначена норма Закону України «Про розвідку» передбачає здійснення розвідувальних заходів виключно розвідувальними органами України, які і визначають порядок їх проведення та організації.

Стаття 14 (Розвідувальні заходи) Закону України «Про розвідку» не передбачає проведення суб'єктами розвідувального співтовариства розвідувальних заходів. У цьому зв'язку виникає питання, яким чином Служба безпеки України, яка не є розвідувальним органом в розумінні Закону України «Про розвідку» визначає порядок організації і проведення розвідувальних заходів з метою отримання інформації в інтересах контррозвідки і яким чином така ситуація у правозастосуванні корелюється із нормами Закону України «Про розвідку»?

Розділ IV (Повноваження Служби безпеки України) Закону України «Про Службу безпеки України» свідчить про те, що державний орган спеціального призначення з правоохоронними функціями, який забезпечує державну безпеку України не містить положення де б було визначено, що Служба безпеки України відповідно до своїх основних завдань зобов'язана (стаття 24) чи Службі безпеки України, її органам і співробітникам для виконання покладених на них обов'язків надається право (стаття 25) проводити розвідувальні заходи з метою отримання інформації в інтересах контррозвідки або здійснювати розвідувальну діяльність у будь-який інший спосіб [5].

У цьому зв'язку доцільно згадати статтю 20 Закону України «Про національну безпеку України», яка визначає, що виключно розвідувальні органи України відповідно до закону здійснюють розвідувальну діяльність з метою сприяння реалізації національних інтересів України та протидії зовнішнім загрозам національній безпеці України у визначених законом сферах. Закон України «Про національну безпеку України» у статтях 19 та 20 не передбачає здійснення розвідувальної діяльності суб'єктами розвідувального співтовариства та проведення Службою безпеки України розвідувальних заходів з метою отримання інформації в інтересах контррозвідки [6].

Служба безпеки України не є розвідувальним органом, тож не може за таким визначенням здійснювати розвідувальну діяльність, навіть за умови проведення розвідувальних заходів з метою отримання інформації в інтересах контррозвідки, оскільки розвідувальний захід є частиною розвідувальної діяльності, яку за визначенням наведеним у статті 1 Закону України «Про розвідку» можуть здійснювати виключно розвідувальні органи України.

Частину другу статті 5 Закону України «Про розвідку», де визначено, що «Здійснення розвідувальної діяльності іншими, ніж передбачені цією статтею, державними органами, військовими формуваннями, підприємствами, установами, організаціями будь-якої форми власності або фізичними особами забороняється, крім проведення розвідувальних заходів та здійснення спеціальної розвідки іншими суб'єктами розвідувального співтовариства у випадках, передбачених цим Законом.» за змістом містить пряму заборону здійснення розвідувальної діяльності окрім розвідувальних органів України та всупереч основних положень Закону України «Про розвідку» та його ідеології побудови надає право Службі безпеки України проведення розвідувальних заходів та здійснення спеціальних розвідок.

Визначення поняття «розвідувальна діяльність», яке надає Закон України «Про розвідку» чітко, без виключень визначає що це система розвідувальних заходів, що здійснюються розвідувальними органами України для виконання покладених на ці органи завдань та здійснення визначених Законом України «Про розвідку» функцій. Зазначене визначення поняття «розвідувальна діяльність» не передбачає здійснення розвідувальної діяльності суб'єктами розвідувального співтовариства.

У цьому зв’язку доцільно звернути увагу, що положення Закону України «Про контррозвідувальну діяльність» не містить будь-якої норми, яка б надавали право проводити підрозділам розвідувальних органів України контррозвідувальні заходи з метою отримання інформації в інтересах розвідки [7]. У цьому зв’язку слід зазначити, що статтею 17 (Проведення розвідувальними органами оперативно-розшукових та контррозвідувальних заходів) Закону України «Про розвідку» передбачає проведення контррозвідувальних заходів розвідувальними органами України, в рамках забезпечення власної безпеки підрозділами забезпечення внутрішньої і власної безпеки розвідувальних органів, а також під час сприяння підрозділами розвідувальних органів спеціально уповноваженому органу державної влади у сфері контррозвідувальної діяльності у здійсненні контррозвідувального забезпечення закордонних дипломатичних установ України, безпеки співробітників цих установ та членів їх сімей у державі перебування, відряджених за кордон громадян України, які обізнані у відомостях, що становлять державну таємницю, а також охороні державної таємниці в цих установах.

Такий підхід законодавця не надає розвідувальним органам України спроможності у здійсненні контррозвідувальної діяльності, які законодавець надав спеціально уповноваженому органу державної влади у сфері контррозвідувальної діяльності у здійсненні його підрозділами розвідувальних заходів з метою отримання інформації в інтересах контррозвідки.

За таким підходом буде доречною та логічною пропозиція щодо надання повноважень розвідувальним органам України, що здійснюють розвідувальну діяльність, право проводити контррозвідувальні заходи з метою отримання інформації в інтересах розвідки, зокрема під час проведення заходів з метою сприяння реалізації національних інтересів України, забезпечення безпеки та участі у формуванні і реалізації державної політики у визначених законом сферах, посилення обороноздатності держави, економічного та науково-технічного розвитку. Проте такий підхід буде суперечити Указу Президента України від 23.07.2025 №544.

Так, відповідно до положень Указу Президента України від 23.07.2025 №544, яким затверджено заходи для скорочення бюрократичних процедур та проведення негайного аудиту державних видатків, з метою більш раціонального використання державних коштів та максимального спрямування державних ресурсів для захисту незалежності України та посилення її обороноздатності в умовах правового режиму воєнного стану Президентом України було надано

доручення Кабінету Міністрів України забезпечити відповідно до повноважень та з урахуванням загроз національній безпеці проведення аналізу інституційної та функціональної спроможності органів державної влади в інтересах національної безпеки та оборони України і вжити за результатами аналізу заходів, спрямованих насамперед на недопущення дублювання ними повноважень, виконання невластивих функцій і неефективного використання кадрового та бюджетних ресурсів [8].

Окремої уваги потребує унормування законодавства України у сфері організації діяльності розвідувальних органів України, у зв'язку із уведенням в Законі України «Про розвідку» терміну «розвідувальна таємниця», як наслідок потребує унормування положень законів України «Про розвідку» та «Про державну таємницю».

Список використаних джерел

1. Стратегія національної безпеки України. Указ Президента України від 14 вересня 2020 року №392/2020. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text (дата звернення: 14.07.2026).
2. Про розвідку : Закон України від 17 вересня 2020 року № 912-IX. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/912-20#Text (дата звернення: 14.07.2026).
3. Деякі питання забезпечення переговорного процесу про вступ України до Європейського Союзу за кластером 1 «Основи процесу вступу до ЄС». розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 травня 2025 року №475-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/475-2025-%D1%80#Text (дата звернення: 14.07.2026).
4. Шамара О.В. Виконання положень дорожньої карти з питань верховенства права в контексті унормування розвідувальної діяльності // Інформація і право. Науковий журнал. №1(56) (2026). – С.180-187. DOI: https://doi.org/10.37750/2616-6798.2026.1(56).357385. https://il.ippi.org.ua/article/view/357385.
5. Про Службу безпеки України : Закон України від 25 березня 1992 року № 2229-XII. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2229-12#Text (дата звернення: 14.07.2026).
6. Про національну безпеку України: Закон України від 21 червня 2018 року №2469-VIII. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text (дата звернення: 14.07.2026).
7. Про контррозвідувальну діяльність: Закон України від 26 грудня 2002 року № 374-IV. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-15#Text (дата звернення: 14.07.2026).
8. Про заходи для скорочення бюрократичних процедур та проведення негайного аудиту державних видатків: Указ Президента України від 23 липня 2025 року №544/2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/544/2025#Text (дата звернення: 14.07.2026).

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ДОСУДОВОГО ВРЕГУЛЮВАННЯ ПОДАТКОВИХ КРИМІНАЛЬНИХ ПРАВОПОРУШЕНЬ

Миколайчук Микола
д.держ.упр., професор
завідувач кафедри публічного управління та регіоналістики
Дуліна Оксана
к.ю.н., доцент
Кафедра публічного управління та регіоналістики
Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Актуальність запровадження механізму досудового врегулювання податкових кримінальних правопорушень визначається необхідністю наближення національної правозастосовної практики до європейських принципів правової визначеності, пропорційності кримінально-правового впливу, ефективного правосуддя та партнерської взаємодії держави з платниками податків. Хоча такий механізм не є безпосередньою вимогою acquis Європейського Союзу, його концепція узгоджується зі статтею 49 Хартії основних прав ЄС, яка закріплює принцип пропорційності кримінальних санкцій, а також із розвинутою в ЄС моделлю cooperative compliance, заснованою на співпраці, довірі, прозорості та стимулюванні добровільного виконання податкових обов'язків.

Для українського добросовісного бізнесу механізм досудового врегулювання податкових правопорушень створює стимули для добровільного усунення наслідків першого порушення, сплати належних платежів і формування сталої податкової поведінки, водночас сприяючи скороченню тривалості кримінального процесу та мінімізації негативного впливу розслідування на господарську діяльність.

За даними Державної судової адміністрації України, у 2025 році за результатами розгляду кримінальних проваджень за ст. 212 КК України було засуджено 6 осіб, виправдано 8 осіб, а щодо 215 осіб кримінальні провадження закрито [1]. На опрацювання матеріалів закритих справ, проведення слідчих і процесуальних дій, підготовку експертних висновків, здійснення процесуального керівництва прокурора та судового розгляду держава витрачає значні кадрові, організаційні й фінансові ресурси. Особливої гостроти ця проблема набуває у випадках, коли податкові зобов'язання вже сплачені, завдану державі шкоду відшкодовано, однак провадження продовжує проходити всі формальні стадії кримінального процесу до ухвалення судом рішення про його закриття [2]. Така практика не забезпечує додаткового фіскального результату, але збільшує навантаження на БЕБ (Бюро економічної безпеки), прокуратуру та суди, затягує остаточне вирішення справи й посилює господарські втрати

бізнесу. Запропонована Бюро економічної безпеки України процедура спрямована на скорочення тривалості кримінальних проваджень, раціоналізацію використання ресурсів правоохоронних і судових органів та зменшення негативного впливу кримінального переслідування на господарську діяльність після відновлення майнових інтересів держави.

Сутність механізму полягає у можливості завершити кримінальне провадження після встановлення факту податкового порушення та відшкодування завданої державі шкоди, але до повідомлення будь-якій особі про підозру. Процедура має застосовуватися не до всіх економічних кримінальних правопорушень, а лише до проваджень, які перебувають у провадженні детективів БЕБ і стосуються діянь, передбачених статтею 212 Кримінального кодексу України – ухилення від сплати податків, зборів та інших обов'язкових платежів.

Проєкт передбачає укладення письмової угоди між платником податків та детективом БЕБ. Ініціатором її укладення може бути платник, детектив або прокурор. У документі повинні фіксуватися обставини податкового порушення, його правова кваліфікація, розмір несплачених податків або внесків, сума матеріальної шкоди, строки й порядок її відшкодування, а також інші зобов'язання платника. Розмір матеріальних збитків пропонується підтверджувати експертизою. Якщо сторони не погоджуються з визначеною сумою, угода не укладається, а кримінальне провадження продовжується в загальному порядку відповідно до засад змагальності кримінального процесу.

Для виконання угоди платник зобов'язаний сплатити податки, фінансові санкції, процесуальні витрати та додатковий внесок, попередньо визначений у розмірі 50 % установленої шкоди, з цільовим спрямуванням на потреби Збройних Сил України. Угоду підписує детектив БЕБ, погоджує керівництво Бюро та затверджує прокурор, який здійснює процесуальне керівництво. Після повного виконання зобов'язань кримінальне провадження підлягає закриттю без повідомлення особі про підозру та без передання матеріалів до суду [3].

Концептуальною основою процедури є так зване право на першу помилку. Хоча цей термін не утворює самостійного інституту чинного кримінального чи податкового законодавства, ним позначається можливість одноразового застосування досудового врегулювання до платника податків за умови повного виконання укладеної угоди. Для держави така процедура сприяє прискореному надходженню коштів до бюджету та оптимізації використання ресурсів системи кримінальної юстиції, а для платника – забезпечує правову визначеність щодо умов і наслідків припинення кримінального провадження.

Попри потенційні переваги механізму досудового врегулювання податкових кримінальних правопорушень, його запропонована модель містить низку процесуальних, інституційних і фінансово-правових ризиків. Основні застереження пов'язані з недостатніми гарантіями прав платника, відсутністю повноцінного судового контролю, проблемами виконання угоди за наявності арешту активів та невизначеністю правової природи додаткового платежу [4].

Зокрема ідеться про можливу колізію з Податковим кодексом України та дублювання функцій Державної податкової служби. Висновок експерта або аналітичний розрахунок БЕБ у кримінальному провадженні не є автоматично податковим повідомленням-рішенням або іншим передбаченим Податковим кодексом способом узгодження грошового зобов'язання. БЕБ є правоохоронним органом, компетенція якого полягає у виявленні та розслідуванні кримінальних правопорушень, тоді як визначення, узгодження й адміністрування податкових зобов'язань належать до функцій контролюючих органів [5].

Для усунення цієї проблеми у передбачуваних змінах до КПК необхідно передбачити обов'язкову участь ДПС у підтвердженні або погодженні розміру податкового зобов'язання. Можливим є запровадження тристоронньої угоди між платником, БЕБ і податковим органом, отримання обов'язкового висновку ДПС або створення спільної міжвідомчої процедури визначення відповідних сум. Доцільно передбачити відображання виконаної угоди у податковому обліку, припинення податкової вимоги за тим самим фактом і виключення повторного нарахування зобов'язання за відповідний податковий період.

Станом на липень 2026 року механізм досудового врегулювання податкових кримінальних правопорушень перебуває на стадії законопроєктної роботи. Після завершення громадського обговорення БЕБ утворило міжвідомчу робочу групу з напрацювання змін до Кримінального кодексу України, Кримінального процесуального кодексу України та інших законодавчих актів.

Отже, запровадження механізму досудового врегулювання податкових кримінальних правопорушень є актуальним і перспективним напрямом реформування кримінальної політики у сфері економічної безпеки. Водночас його позитивний ефект можливий лише за умови усунення колізій із податковим законодавством, чіткого розмежування компетенції Бюро економічної безпеки України та Державної податкової служби України, забезпечення належних процесуальних гарантій платника податків і запровадження незалежного судового контролю. Необхідною передумовою ефективного функціонування такого механізму є своєчасна адаптація наявної системи державних реєстрів до змін законодавства, а також упровадження належного спеціалізованого програмного забезпечення, що забезпечуватиме достовірність, захищеність, оперативний обмін і належну верифікацію інформації між уповноваженими органами.

Список використаних джерел

1. Звіт судів першої інстанції про розгляд матеріалів кримінального провадження за 2025 рік: https://court.gov.ua/storage/portal/main_site/zvit_2025/1-к_4.2025.xls
2. Проєкт змін до Кримінального кодексу України, Кримінального процесуального кодексу України та Закону України «Про Бюро економічної безпеки України». Бюро економічної безпеки України. URL: https://esbu.gov.ua/storage/app/sites/32/2026/gromadske-obgovorennya/kk-kpk-zu-beb-mediaciia-po-04032026.pdf

3. Звіт про консультації з громадськістю щодо впровадження механізму досудового врегулювання податкових правопорушень. Бюро економічної безпеки України. URL: https://esbu.gov.ua/dlia-hromadskosti/konsultatsii-z-hromadskistiu/zvity-pro-konsultatsii-z-hromadskistiu/zvit-pro-konsultatsii-z-hromadskistiu-shchodo-vprovadzhennia-mekhanizmu-dosudovoho-vrehuliuvannia-podatkovykh-pravoporushen-ta-ioho-normatyvnoho-vrehuliuvannia
4. Новий механізм досудового врегулювання податкових правопорушень. Бюро економічної безпеки України. URL: https://esbu.gov.ua/news/novyi-mekhanizm-dosudovoho-vrehuliuvannia-podatkovykh-pravoporushen
5. Шевчук О., Данилова К., Дерев'янко С., Андросович К. Досудове врегулювання податкових правопорушень в Україні та за кордоном: уроки для БЕБ. Юридична практика. URL: https://pravo.ua/dosudove-vrehuliuvannia-podatkovykh-pravoporushen-v-ukraini-ta-za-kordonom-uroky-dlia-beb/

Section: Management, Public Administration and Administration

ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF MANAGERIAL DECISION-MAKING IN A NONLINEAR BUSINESS ENVIRONMENT: CONTEMPORARY APPROACHES AND INTERNATIONAL EXPERIENCE

Gaukhar Igimbayeva
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Karaganda Medical University
DBA Doctoral Candidate,
Graduate School of Business, Almaty Management University
Roslan Rakhman
DBA Doctoral Candidate,
Graduate School of Business, Almaty Management University
Alima Maksut
MBA Student,
Graduate School of Business, Almaty Management University

Abstract

This paper examines contemporary approaches to enhancing managerial decision-making in nonlinear business environments characterized by uncertainty, complexity, and rapid technological change. It reviews key management concepts, including Evidence-Based Management, Data-Driven Decision-Making, Decision Intelligence, Scenario Planning, and Behavioral Strategy. Particular attention is paid to the role of digital transformation, artificial intelligence, and data analytics in supporting strategic decision-making. Drawing on international best practices, the study identifies managerial approaches that strengthen organizational adaptability, resilience, and decision quality. The findings may serve as a practical reference for managers, researchers, and strategic management professionals seeking to develop more effective decision-support systems.

Keywords: managerial decision-making; nonlinear business environment; uncertainty; strategic management; artificial intelligence; Evidence-Based Management; Decision Intelligence.

Introduction

The contemporary business environment is shaped by rapid technological, economic, and social transformations that increase uncertainty, complexity, digitalization, and market interdependence. Under these conditions, conventional planning and decision-making models based on linear assumptions are becoming progressively less effective.

Business nonlinearity is reflected in the limited predictability of managerial outcomes, rapidly emerging disruptions, changing customer behavior, and the growing influence of external factors. At the same time, advances in artificial intelligence, big data, and business process automation are fundamentally reshaping managerial practice and raising expectations regarding corporate governance.

Consequently, organizational performance increasingly depends on managers' ability to make timely, evidence-based, and adaptive decisions. Analytical tools, digital technologies, and evidence-based management approaches have therefore become central to effective strategic decision-making.

Literature Review

Recent studies indicate a significant transformation of management theory driven by increasing environmental uncertainty. Whereas traditional strategic management relied primarily on long-term planning and linear forecasting, contemporary research increasingly views organizations as complex adaptive systems operating in continuously evolving environments.

Among the most influential frameworks describing today's business environment is the VUCA model, emphasizing volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity. More recently, the BANI framework has expanded this perspective by highlighting the fragility, anxiety, nonlinearity, and incomprehensibility of modern socio-economic systems.

The theoretical foundations of managerial decision-making were established by Herbert Simon, whose concept of bounded rationality explains that managerial decisions are constrained by limited information, time, and cognitive capacity. Daniel Kahneman further demonstrated how cognitive biases and heuristics influence managerial judgment, while Gerd Gigerenzer argued that intuitive heuristics may outperform complex analytical models under conditions of high uncertainty.

Strategic management has also been advanced through the work of Henry Mintzberg, Karl Weick, and Dave Snowden, whose contributions emphasize organizational learning, sensemaking, and context-dependent decision-making.

More recently, Evidence-Based Management, developed by Jeffrey Pfeffer and Robert Sutton, together with the emerging concept of Decision Intelligence, has highlighted the value of integrating scientific evidence, organizational data, artificial intelligence, and managerial expertise. Collectively, these approaches suggest that effective decision-making increasingly depends on combining evidence-based management, advanced analytics, digital technologies, and human cognitive capabilities.

Research Methodology

The study adopts a systemic, comparative, and institutional approach to examine managerial decision-making as a complex socio-economic process operating within a nonlinear business environment.

The methodological framework combines comparative analysis of international studies, content analysis of academic publications, synthesis of global best practices, and conceptual analysis of contemporary strategic management theories. The research

is based on publications by leading international scholars, reports from organizations such as the OECD and the World Economic Forum, and analytical studies produced by consulting firms including McKinsey, Deloitte, and PwC.

Research Findings

The findings indicate that effective managerial decision-making in nonlinear business environments depends less on individual managerial experience than on an organization's ability to integrate advanced analytical methods, digital technologies, collective expertise, and organizational learning.

Unlike traditional management models based on rigid planning, modern organizations emphasize adaptability, rapid response, and continuous knowledge development. The analysis also demonstrates that contemporary decision-making approaches are complementary rather than mutually exclusive. Leading organizations increasingly combine analytical methods, digital technologies, and managerial expertise to improve strategic decision quality.

Table 1. Contemporary Approaches to Enhancing Managerial Decision-Making

Approach	**Key Characteristics**	**Main Benefits**
Evidence-Based Management	Decisions based on scientific evidence, organizational data, and managerial expertise	Improves the quality and reliability of decisions
Data-Driven Decision-Making	Use of data analytics and business intelligence	Enhances forecasting accuracy and supports objective decision-making
Decision Intelligence	Integration of artificial intelligence, analytics, and human expertise	Provides comprehensive decision support
Scenario Planning	Development of alternative future scenarios	Reduces uncertainty and improves strategic preparedness
Agile Decision-Making	Iterative and adaptive decision processes	Increases organizational flexibility and responsiveness
Systems Thinking	Viewing the organization as an interconnected system	Improves understanding of complex relationships and long-term consequences

Source: developed by the author based on the literature review

Evidence-Based Management encourages managers to integrate scientific evidence, organizational data, professional expertise, and stakeholder perspectives, thereby reducing subjective bias. Likewise, Decision Intelligence combines artificial intelligence, predictive analytics, and human expertise to support managerial judgment.

Overall, international practice demonstrates a clear shift from experience-based management toward intelligent, data-enabled decision systems that combine human expertise with advanced analytics and artificial intelligence.

Discussion

The findings suggest that managerial decision effectiveness depends not on isolated management tools but on the integration of analytical capabilities, digital technologies, managerial expertise, and organizational learning into a coherent decision-making system.

Organizations operating in highly dynamic environments require adaptive management models capable of responding rapidly to emerging challenges while maintaining strategic consistency. Digital technologies, particularly artificial intelligence, significantly improve forecasting accuracy, accelerate information processing, and support the evaluation of alternative scenarios. Nevertheless, strategic decisions ultimately remain the responsibility of managers, who must also consider organizational objectives, ethical principles, and stakeholder interests.

Accordingly, enhancing managerial decision-making should be viewed as a comprehensive process based on the integration of evidence-based management, digital technologies, professional competencies, and continuous organizational learning.

Conclusion

The study demonstrates that nonlinear business environments require organizations to move beyond traditional linear decision-making models toward adaptive, evidence-based approaches.

The literature review confirms that managerial effectiveness is strengthened through the integration of data analytics, Evidence-Based Management, Decision Intelligence, scenario planning, and digital decision-support technologies. International experience indicates that leading organizations increasingly complement managerial expertise with artificial intelligence and advanced analytical capabilities to improve strategic decision quality.

The findings contribute to a better understanding of how organizations can enhance decision quality, reduce uncertainty, and strengthen resilience in increasingly complex business environments. Future research should focus on empirical validation of these approaches and on developing quantitative methods for assessing managerial decision-making effectiveness in nonlinear contexts.

References

1. Davenport, T. H., & Bean, R. (2023). The State of Data and AI Leadership. NewVantage Partners.
2. Gigerenzer, G. (2022). How to Stay Smart in a Smart World. Penguin Random House.
3. Kahneman, D., Sibony, O., & Sunstein, C. R. (2021). Noise: A Flaw in Human Judgment. Little, Brown Spark.
4. OECD. (2024). OECD Digital Economy Outlook 2024. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/b61d18b3-en
5. Pfeffer, J., & Sutton, R. I. (2006). Hard Facts, Dangerous Half-Truths, and Total Nonsense: Profiting from Evidence-Based Management. Harvard Business Review Press.

6. Simon, H. A. (1997). Administrative Behavior (4th ed.). Free Press.
7. Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. Harvard Business Review, 85(11), 68–76.
8. Weick, K. E., Sutcliffe, K. M., & Obstfeld, D. (2005). Organizing and the Process of Sensemaking. Organization Science, 16(4), 409–421. https://doi.org/10.1287/orsc.1050.0133
9. World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report 2025. Geneva: World Economic Forum.
10. McKinsey & Company. (2024). The State of AI in Early 2024: Gen AI Adoption Spurs Growth.
11. Deloitte. (2024). 2024 Global Human Capital Trends. Deloitte Insights.
12. Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial Intelligence for the Real World. Harvard Business Review, 96(1), 108–116.
13. Shrestha, Y. R., Ben-Menahem, S. M., & von Krogh, G. (2019). Organizational Decision-Making Structures in the Age of Artificial Intelligence. California Management Review, 61(4), 66–83. https://doi.org/10.1177/0008125619862257
14. Ramezani, J., & Camarinha-Matos, L. M. (2020). Approaches for Resilience and Agility in Business Collaboration. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119846. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119846
15. Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014). What VUCA Really Means for You. Harvard Business Review, 92(1–2), 27.

СТРАТЕГІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ

Пустовалова Анастасія
завідувач відділення променевої діагностики
ТОВ «Медичний дім «Odrex», Україна

Фундаментальні зміни, закладені Законом України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення» (2017 р.), стали не просто адміністративним кроком, а стратегічним активом національної безпеки. Створення Національної служби здоров'я України (НСЗУ) як єдиного закупівника дозволило системі відійти від радянської моделі «утримання ліжок» до ринкових механізмів, де конкуренція за пацієнта стала драйвером якості та стійкості. Ця інституційна архітектура забезпечила гнучкість, яка виявилася критичною під час пандемії COVID-19, а згодом – і в умовах повномасштабного вторгнення.

Аналіз динаміки розвитку та інституційної стабільності дозволив виділити ключові особливості галузі: розширення мережі, фінансова прогресія Програми медичних гарантій (ПМД), соціальний контракт. Перехід на контрактну модель стимулював автономізацію закладів. Кількість надавачів медичних послуг, що

уклали договори з НСЗУ, зросла з 1185 у 2018 р. до 2467 у 2024 р., що свідчить про високу адаптивність ринку навіть у кризових умовах. ПМГ забезпечила стале зростання ресурсів для первинної ланки, що дозволило медикам зберігати операційну спроможність: в 2018 р. – 3,44 млрд. грн. (запуск реформи), в 2019-2022 рр. – період стабільної розбудови та випробування стійкості під час пандемії, в 2023 р. – 23,36 млрд. грн. (зростання майже у 7 разів порівняно з початком). Понад 77% населення України (станом на 2024 р.) підписали декларації з лікарями, що свідчить про глибоку довіру громадян до нової системи, яка продовжує функціонувати попри територіальну розрізненість та міграційні шоки [1].

Саме перехід до централізованого пулінгу коштів НСЗУ став тим запобіжником, що прийняв на себе перший удар вторгнення, дозволивши фінансувати медицину в окупованих та прифронтових регіонах незалежно від локальних податкових надходжень.

Різке зростання рівня бідності з 5,5% до 24,1% у 2022 році (додаткові 7,1 млн. осіб) означає, що чверть населення втратила здатність самостійно оплачувати лікування. У таких умовах Програма «Доступні ліки» (АМР) стає єдиним механізмом запобігання катастрофічним витратам домогосподарств. Централізований пулінг коштів НСЗУ дозволив мільйонам внутрішньо переміщеним особам (ВПО) отримувати допомогу за місцем фактичного перебування, що нівелювало ризик колапсу надання послуг через демографічне зміщення.

ПМГ еволюціонувала в інструмент швидкого реагування. У відповідь на нові загрози система оперативно впровадила пакети послуг, що відповідають потребам воєнного часу, зокрема реабілітацію та ментальне здоров'я.

Враховуючи, що 25% населення України потребує психологічної підтримки, держава розширила фінансування відповідних послуг на рівні первинної допомоги. У межах партнерства з DG ENEST, технічна допомога дозволила закласти фундамент для 19% зростання капітаційної ставки ПМД у 2026 році, що є прямим свідченням пріоритезації цієї ланки.

Попри війну, система фокусується на головних причинах смертності: нейроциркуляторна дистонія зумовлює 91% передчасних смертей (до 70 років). Оновлення клінічних настанов щодо гіпертензії та запуск пілотних проєктів зі скринінгу раку шийки матки дозволяють утримувати фокус на довгостроковому здоров'ї нації.

За підтримки Світового банку та міжнародних партнерів, лікарні прифронтових зон отримали 6 модульних котелень та 5 станцій очищення води. Це забезпечило операційну незалежність від атак на енергосистему, трансформуючи екстрену допомогу в системну стійкість. Гнучкість ПМГ довела, що цифрова прозорість є не додатковою опцією, а обов'язковою умовою виживання за обмежених ресурсів [2].

Електронна система охорони здоров’я (ЕСОЗ) стала ключовим інструментом антикорупційного контролю та верифікації кожної бюджетної

гривні. Перехід до цифрових стандартів не лише спрощує шлях пацієнта, а й робить Україну повноправним учасником майбутнього Європейського простору медичних даних (EHDS).

Процес еволюції E-Health в умовах євроінтеграції можна представити наступним чином: прозорість ресурсів, масштаб інтеграції, гармонізація стандартів, цифровізація. Впровадження системи e-Stock для управління залишками ліків та електронних рецептів дозволило ефективно розподіляти медикаменти між регіонами, що критично важливо для ВПО. Україна є учасником консорціуму POTENTIAL, який об'єднує 148 учасників з 19 країн-членів ЄС та України. Це забезпечує пілотування транскордонних цифрових сервісів, таких як е-рецепти та цифрові гаманці ідентифікації. Ключовим вектором є впровадження Європейського формату обміну електронними медичними записами, що дозволить українським пацієнтам за кордоном та іноземним лікарям обмінюватися даними через MyHealth@EU, забезпечуючи безперервність лікування.

Цифровізація – це міст між екстреним реагуванням та модернізацією системи за принципом «Build Back Better». Концепція «Build Back Better» для України – ц е відмова від надмірної стаціонарної мережі на користь ефективної, пацієнтоцентричної моделі. Відновлення має базуватися на оптимізації госпітальних округів та зміцненні ПМД.

Серед пріоритетів стратегічного відновлення можна виділити: структурну трансформацію (перехід від тривалої госпіталізації до амбулаторної хірургії, денних стаціонарів та реабілітації в громадах), інвестиційну логіку, довгострокову фінансову стратегію. Згідно з оцінками RDNA, негайні потреби 2024 року в розмірі 873 млн. дол. США мають бути спрямовані на енергонезалежність, цифровізацію та посилення ПМД. У грудні 2023 року уряд схвалив семирічну Національну стратегію доходів до 2030 року, яка передбачає поступове зниження залежності від донорів через мобілізацію внутрішніх ресурсів, зокрема підвищення акцизів на шкідливі для здоров'я товари (тютюн, алкоголь) [3].

Стійкість системи сьогодні базується на здатності інституцій (НСЗУ, Міністерство охорони здоров'я України) трансформувати виклики війни у фундамент для майбутнього вступу до ЄС. Для зміцнення життєздатності системи та успішного відновлення охорони здоров’я в Україні необхідно реалізувати наступні кроки:

1. Посилити інституційну спроможність НСЗУ. Забезпечити повну автономію закладам та наростити аналітичний потенціал НСЗУ для впровадження методів оплати на основі результатів.

2. Розширити доступність через АМР. Пріоритетно розширити перелік препаратів у програмі «Доступні ліки» для лікування нейроциркуляторної дистонії та психічних розладів, щоб нівелювати вплив критичного рівня бідності.

3. Впровадити обов'язкові індикатори якості. Мандатувати використання даних ЕСОЗ для моніторингу клінічної ефективності, зробивши показники якості невід'ємною частиною контрактів ПМГ.

4. Забезпечити енергетичну та операційну автономність. Продовжити інвестиції в автономні джерела енергії та водопостачання для всіх опорних лікарень як елемент національної стійкості.

5. Фіналізувати цифрову інтеграцію. Прискорити сертифікацію українських EHR-систем відповідно до стандартів ЄС для забезпечення повної сумісності з EHDS та транскордонного обміну даними.

Список використаних джерел

1. Національній службі здоров'я України - 7 років. Верховна Рада України. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/260649.html (дата звернення 17.07.2026)
2. Ще 21 медзаклад отримає котельні для забезпечення резервного теплопостачання: укладено угоду з ВООЗ. Міністерство охорони здоров'я України. URL: https://moz.gov.ua/uk/news/she-21-medzaklad-otrimaye-kotelni-dlya-zabezpechennya-rezervnogo-teplopostachannya-ukladeno-ugodu-z-vooz (дата звернення 17.07.2026)
3. Про схвалення Національної стратегії доходів до 2030 року. Верховна Рада України: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2023 р. № 1218-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1218-2023-%D1%80#Text (дата звернення 17.07.2026)

Section: Medicine

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.031.181-189

SUPRASPINAL NEUROPLASTIC RESPONSE AND MARKERS OF SYSTEMIC NEUROINFLAMMATION IN ACUTE COMPLICATED SPINAL INJURY: CLINICAL AND RADIOLOGICAL CORRELATIONS

Salykbayev Azamat Almatuly
Graduate
https://orcid.org/0009-0006-6898-3981
Gizatullin Ravil Ruslanovich
Graduate
https://orcid.org/0009-0000-5066-927X
Asfendiyarov Kazakh National Medical University, 94 Tole Bi Street, 050012
Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: The optimal therapeutic window for neurosurgical decompression in acute traumatic spinal cord injury (SCI) remains controversial, particularly in polytrauma patients where urgent neurosurgical indications frequently conflict with traumatological stabilization priorities and systemic resuscitation targets. This review evaluates clinical and molecular evidence to define optimal surgical windows and interdisciplinary management strategies.

Methods: A structured literature search was conducted across PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases covering peer-reviewed articles published from January 2005 to March 2026. Studies focusing on the interaction between surgical timing, orthopedic stabilization strategies, systemic inflammation, and neurological outcomes quantified by the American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS) were synthesized.

Results: Pooled multi-center data indicate that ultra-early surgical decompression (<24 hours post-injury) significantly improves long-term functional recovery, doubling the probability of a ≥2-grade AIS advancement at 12-month follow-up without increasing perioperative morbidity. In unstable polytrauma patients, executing immediate Early Total Care (ETC) protocols risks triggering a secondary systemic "second hit," exacerbating intraparenchymal ischemia. Conversely, Damage Control Orthopedics (DCO) principles utilizing rapid external fixation minimize initial surgical stress, facilitating immediate neurosurgical decompression within the optimal 24-hour window while deferring definitive internal fixation to a secondary window (5–7 days). Furthermore, acute intrathecal concentrations of interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) spike within 12–24 hours, correlating tightly with initial baseline injury severity and driving secondary autolytic tissue destruction.

Conclusion: Coordinated, time-sensitive interdisciplinary management prioritizing ultra-early neurosurgical decompression (<24 hours) via a staged "spine damage control" pathway optimizes neurological salvage while mitigating devastating systemic immune-mediated complications in polytrauma cohorts.

Keywords: Spinal cord injury; Surgical decompression; Damage control orthopedics; Systemic inflammatory response syndrome; ASIA Impairment Scale.

INTRODUCTION

Acute traumatic spinal cord injury (SCI) causes permanent neurological deficits and elevated mortality rates [1]. The global incidence ranges from 10 to 84 cases per million population, predominantly affecting males under 30 years of age, with motor vehicle accidents and falls from heights constituting the primary etiologies [2]. The pathophysiology of SCI comprises distinct primary and secondary injury phases [3]. The primary injury phase involves immediate mechanical disruption of bone, ligamentous structures, and neural tissue, resulting in axonal transection of ascending and descending pathways, microvascular rupture, and cell membrane lysis. The subsequent secondary injury phase consists of a progressive biochemical cascade initiated within minutes of the initial trauma, characterized by local ischemia, glutamate-mediated excitotoxicity, blood-spinal cord barrier disruption, and a robust inflammatory response [4].

Surgical decompression modifies this secondary cascade [5]. Early relief of mechanical compression restores microvascular perfusion and salvages viable neural tissue [6]. However, the optimal therapeutic window - specifically the comparative clinical efficacy of early (less than 24 hours) versus delayed (greater than 24 hours) decompression - remains non-consensus within international clinical guidelines [7]. Management is further confounded in polytrauma patients with concomitant skeletal fractures, where the neurosurgical indication for immediate decompression directly conflicts with traumatological stabilization priorities and systemic resuscitation targets [8].

The bidirectional relationship between acute SCI and the systemic immune response modulates both neurological recovery and overall survival [9]. The release of damage-associated molecular patterns (DAMPs) from injured neural and skeletal tissues initiates a systemic inflammatory response, which exacerbates secondary intraparenchymal spinal cord damage while predisposing patients to acute respiratory distress syndrome (ARDS) and secondary infectious complications [10]. The choice of orthopedic stabilization strategies, specifically damage control orthopedics (DCO) versus early total care (ETC), directly modulates this systemic inflammatory response [11].

Data systematically evaluating how the timing of neurosurgical decompression interacts with specific traumatological stabilization protocols, the systemic inflammatory profile, and long-term neurological recovery quantified by the American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale remain fragmented. This review analyzes clinical trial data and molecular evidence to define optimal surgical windows and interdisciplinary management strategies for patients with acute traumatic spinal cord injury.

AIMS AND OBJECTIVES

The primary aim of this review is to evaluate the relationship between supraspinal neuroplastic changes and systemic neuroinflammatory markers during the acute phase of complicated spinal cord injury (SCI). To achieve this, we first analyze the systemic inflammatory cascade triggered by acute SCI, focusing specifically on peripheral biomarkers—such as cytokines, glial fibrillary acidic protein (GFAP), and ubiquitin C-terminal hydrolase L1 (UCH-L1)—and their correlation with injury severity. Furthermore, this work synthesizes current clinical and radiological data regarding remote supraspinal reorganizations, including functional and structural brain remodeling that occurs as a direct consequence of spinal tract disruption. We also evaluate the clinical implications of opting for Damage Control Orthopedics (DCO) versus Early Total Care (ETC) in polytrauma patients to assess how surgical timing influences the systemic inflammatory response and secondary neurological damage. Finally, by identifying critical gaps in current neuroimaging and biochemical monitoring protocols, we aim to propose an integrated clinical approach for predicting long-term neurological recovery.

METHODS

Search strategy and information sources: a narrative review design was selected due to the significant heterogeneity of available clinical and pathophysiological evidence, which precluded a formal systematic meta-analysis. A structured, comprehensive literature search was independently conducted across major electronic databases, including PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, covering the period from January 2005 to March 2026. The electronic search utilized combinations of the following Medical Subject Headings (MeSH) and free-text keywords: “spinal cord injury”, “traumatic SCI”, “surgical decompression”, “spinal stabilization”, “timing of surgery”, “damage control orthopedics”, and “systemic inflammatory response syndrome”.

Inclusion and exclusion criteria: to ensure data relevance, specific eligibility criteria were applied. The inclusion criteria embraced peer-reviewed original research articles, prospective and retrospective cohort studies, and systematic reviews focusing exclusively on adult human populations (aged 18 years or older) with acute traumatic spinal cord injury, with or without concomitant systemic polytrauma. The exclusion criteria comprised studies focusing on pediatric cohorts, case reports, abstracts from conferences, non-peer-reviewed commentaries, articles lacking clear diagnostic criteria for either spinal cord injury or mechanical instability, and papers not directly addressing the interaction between surgical timing, orthopedic stabilization, and neurological or inflammatory outcomes. Only articles published in the English language were considered for final synthesis.

RESULTS

Clinical Outcomes of Surgical Decompression and ASIA Scale Dynamics

Decompression timing is a primary determinant of neurological recovery in acute traumatic spinal cord injury (SCI) [5]. Pooled data from multi-center analyses

involving 1,548 patients demonstrate that ultra-early surgical intervention (less than 24 hours post-injury) improves long-term functional outcomes [5, 6].

Patients undergoing decompression within this acute window exhibit significantly higher mean improvements in American Spinal Injury Association (ASIA) motor scores at 12 months compared to the delayed surgery cohort (greater than 24 hours) [5, 7]. The odds ratio of achieving a meaningful neurological conversion of two or more grades on the ASIA Impairment Scale (AIS) is significantly higher in the early decompression cohort, a finding validated by cervical SCI data where early intervention increased the probability of at least a 2-grade AIS advancement at follow-up [12].

Conversely, delaying decompression beyond 24 hours progressively reduces the probability of neurological salvage [6], driving ischemic tissue loss within the secondary penumbra [7]. Early decompressive surgery combined with rigid spinal stabilization does not increase perioperative mortality or major surgical complications, such as surgical device-related complications or sepsis [5, 7].

Acute vertebral column stabilization within the optimal therapeutic window minimizes early localized mechanical instability, thereby preventing immediate progression of parenchymal hematoma and protecting adjacent viable cord segments from ongoing dynamic compression.

Polytrauma Interdisciplinary Management: DCO vs. ETC

In patients with concomitant polytrauma or multiple skeletal fractures, the neurosurgical indication for immediate spinal decompression intersects with traumatological stabilization priorities [8, 11]. Methodologically, prospective randomized data confirm that early rigid stabilization within the acute phase significantly reduces the duration of intensive care unit stays, and decreases the incidence of complications, such as pneumonia and deep vein thrombosis [13]. While early surgical stabilization mitigates these systemic threats, its direct impact on converting baseline neurological scores remains secondary to the status of the initial trauma [13].

Execution of an Early Total Care (ETC) protocol - defined by immediate, definitive long-bone and pelvic fixation via intramedullary nailing or extensive plating- in hemodynamically unstable patients can precipitate a second hit [11, 14]. This response, exacerbated by intraoperative blood loss and prolonged anesthesia during spinal shock, induces severe systemic hypotension, thereby compromising spinal cord perfusion pressure and expanding the traumatic penumbra [14].

Conversely, Damage Control Orthopedics (DCO) principles prioritize rapid external fixation for unstable pelvic and long-bone fractures, minimizing early surgical stress [8, 11]. This staged approach permits urgent neurosurgical decompression (less than 24 hours) while facilitating resuscitation targets [14]. Clinical registry data indicate that patients managed via the DCO pathway experience lower rates of acute respiratory distress syndrome (ARDS) and multi-organ dysfunction syndrome (MODS) than those undergoing immediate ETC [11, 14]. Definitive conversion to

permanent internal fixation constructs can be deferred to a secondary window (5 to 7 days post-injury) following physiological stabilization [11].

Interconnection with the Systemic Inflammatory Profile

The systemic inflammatory response syndrome (SIRS) initiated by acute traumatic SCI acts as a mediator of both localized secondary neurodegeneration and systemic organ dysfunction [9, 10]. Following the primary mechanical impact, the immediate release of damage-associated molecular patterns (DAMPs) from injured neural structures and skeletal fractures induces rapid systemic upregulation of pro-inflammatory pathways [9, 15].

Prospective clinical data demonstrate that cerebrospinal fluid (CSF) concentrations of interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) spike sharply within the first 12 to 24 hours post-trauma [10, 15].

The magnitude of this early intrathecal cytokine surge correlates with the initial severity of the spinal lesion, with complete motor injuries (AIS A and B) exhibiting the highest baseline inflammatory profiles in the CSF [9, 15]. Elevated local levels of IL-6 and TNF-α promote endothelial dysfunction and upregulate cellular adhesion molecules, driving peripheral neutrophil and macrophage infiltration into the spinal cord parenchyma, which accelerates secondary tissue destruction [10].

DISCUSSION

The synthesis of multi-center clinical trials, registry data, and molecular evidence compiled in this review underscores the critical need for coordinated, time-sensitive interventions in acute traumatic spinal cord injury (SCI). The management of these patients requires balancing immediate neurosurgical decompression with systemic stabilization and immunomodulatory priorities.

Pathophysiological Imperative of "Time is Spine"

The primary injury phase of SCI initiates immediate physical damage to neural structures [3]. However, the subsequent progression of permanent neurological deficits is driven by an ongoing secondary biochemical cascade that unfolds rapidly within the first 24 hours, characterized by local parenchymal ischemia, glutamate-mediated excitotoxicity, and microvascular failure [4].

Data from individual patient pooled analyses involving 1,548 cases demonstrate that ultra-early surgical intervention within this acute phase significantly improves long-term functional outcomes [5]. Relieving mechanical compression within less than 24 hours post-injury is essential to restore microvascular perfusion and salvage viable neural tissue within the vulnerable secondary penumbra [6]. International clinical guidelines increasingly emphasize this window, recommending early decompressive surgery to mitigate ischemic tissue loss and facilitate neurological recovery [7].

The clinical efficacy of this approach is further validated by cervical SCI data, where early intervention doubled the probability of achieving a meaningful 2-grade advancement on the ASIA Impairment Scale (AIS) at follow-up [12]. Conversely, delaying decompression beyond the 24-hour mark shifts the pathological balance toward irreversible tissue degradation, severely limiting the capacity for post-traumatic motor score improvement [5, 6, 7].

Navigating the Surgical Dilemma in Polytrauma Management

The clinical benefits of early neurosurgical decompression become more complex when a patient presents with concomitant polytrauma and unstable skeletal fractures [8, 11]. In these scenarios, the neurosurgical goal of rapid spinal column decompression often conflicts with traumatological stabilization priorities and systemic resuscitation targets [8].

The historical approach of Early Total Care (ETC) - characterized by immediate, definitive long-bone and pelvic fixation - carries clear risks for hemodynamically unstable patients [11]. The physiological stress of prolonged orthopedic surgery, intraoperative blood loss, and anesthesia during spinal shock can trigger a catastrophic "second hit" [11, 14]. This systemic response causes severe hypotension, which compromises spinal cord perfusion pressure and expands the secondary intraparenchymal penumbra [14].

Consequently, integrating Damage Control Orthopedics (DCO) principles for long-bone and pelvic fractures offers a safer alternative to protect the patient from systemic immune-mediated complications [11]. Prioritizing rapid external fixation for unstable skeletal injuries minimizes early surgical stress and shortens initial operative times [11, 14]. Crucially, this temporary stabilization establishes the necessary hemodynamic and physiological window required to safely perform urgent spinal decompression and stabilization [8, 14].

This interdisciplinary sequence is conceptually described as "spine damage control," where staging major interventions prevents multi-organ collapse while ensuring the spinal cord is decompressed within the optimal 24-hour window [8]. Clinical data support this approach, showing lower rates of acute respiratory distress syndrome (ARDS) and multi-organ dysfunction syndrome (MODS) in the staged DCO pathway compared to immediate ETC, allowing definitive internal fixation constructs to be safely deferred to a secondary window 5 to 7 days post-injury [11, 14].

Importantly, prospective randomized data show that early rigid stabilization of the vertebral column itself reduces the duration of intensive care unit stays and minimizes immobilization-related complications, such as pneumonia and deep vein thrombosis [13]. However, clinicians must recognize that while timely spinal stabilization effectively reduces systemic morbidity, its direct impact on converting baseline ASIA neurological scores remains secondary to the severity of the primary mechanical trauma [13].

Systemic Inflammation as a Biomarker and Therapeutic Target

The systemic inflammatory response syndrome (SIRS) initiated by acute traumatic SCI acts as a primary mediator linking localized secondary neurodegeneration with systemic organ dysfunction [9, 10]. Following the mechanical impact, the immediate release of damage-associated molecular patterns (DAMPs) from injured neural structures and concomitant skeletal fractures induces a rapid, systemic upregulation of pro-inflammatory pathways [9, 15].

Prospective clinical data confirm that cerebrospinal fluid (CSF) concentrations of interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) spike sharply within the

first 12 to 24 hours post-trauma [10, 15]. The magnitude of this intrathecal cytokine surge correlates tightly with the baseline clinical severity of the spinal lesion, with complete motor injuries (AIS A and B) exhibiting the highest inflammatory profiles in the CSF [9, 15].

At the tissue level, elevated concentrations of IL-6 and TNF-α contribute to intraspinal inflammation [10]. This process drives peripheral neutrophil and macrophage infiltration directly into the spinal cord parenchyma, accelerating secondary autolytic tissue destruction [10]. Managing this inflammatory response through carefully timed surgical interventions and specific orthopedic protocols represents a critical path toward protecting neurological function and reducing systemic complications.

Study Limitations

This review has certain limitations that should be noted. First, the inclusion of heterogeneous data, combining both retrospective registries and prospective cohorts, limits the ability to draw direct causal conclusions across all subgroups. Second, variations in reporting specific time-to-surgery metrics across different centers introduce some confounding variables regarding the precise boundaries of the early therapeutic window. Lastly, while CSF biomarkers show strong predictive value, their routine clinical collection remains restricted by technical and safety challenges in the acute phase of severe polytrauma.

CONCLUSIONS

Coordinated, time-sensitive interdisciplinary management is paramount in the acute phase of traumatic spinal cord injury. Clinical and molecular evidence strongly supports ultra-early surgical decompression (less than 24 hours post-injury) as the primary intervention to arrest the secondary ischemic cascade and maximize long-term neurological recovery on the ASIA Impairment Scale.

In the presence of concomitant systemic polytrauma, the implementation of Damage Control Orthopedics (DCO) principles effectively prevents a detrimental "second-hit" inflammatory response and avoids systemic hypotension. This staged approach establishes the necessary physiological stability to safely perform urgent neurosurgical decompression within the optimal therapeutic window.

Finally, the sharp rise in acute intrathecal inflammatory biomarkers (IL-6 and TNF-alpha) underlines the bidirectional link between local neurodegeneration and systemic organ dysfunction, establishing a clear pathway for future targeted immunomodulatory therapies.

References

1. Ahuja, C. S., Wilson, J. R., Nori, S., Kotter, M., Druschel, C., Curt, A., & Fehlings, M. G. (2017). Traumatic spinal cord injury. Nature Reviews Disease Primers, 3(1), 17018. https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.18

2. Fehlings, M. G., Singh, A., Tetreault, L., Kalsi-Ryan, S., & Nouri, A. (2014). Global prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury. Clinical Epidemiology, 6, 309. https://doi.org/10.2147/clep.s68889

3. Anjum, A., Yazid, M. D., Daud, M., Idris, J., Ng, M. H., Naicker, A. S., Ismail, O. H. R., Kumar, R., & Lokanathan, Y. (2020). Spinal Cord Injury: Pathophysiology, Multimolecular Interactions, and Underlying Recovery Mechanisms. International Journal of Molecular Sciences, 21(20), 7533. https://doi.org/10.3390/ijms21207533
4. Alizadeh, A., Dyck, S. M., & Karimi-Abdolrezaee, S. (2019). Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. Frontiers in Neurology, 10, 282. https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00282
5. Badhiwala, J. H., Wilson, J. R., Witiw, C. D., Harrop, J. S., Vaccaro, A. R., Aarabi, B., Grossman, R. G., Geisler, F. H., & Fehlings, M. G. (2020). The influence of timing of surgical decompression for acute spinal cord injury: a pooled analysis of individual patient data. The Lancet Neurology, 20(2), 117–126. https://doi.org/10.1016/s1474-4422(20)30406-3
6. Ramakonar, H., & Fehlings, M. G. (2021). 'Time is Spine': new evidence supports decompression within 24 h for acute spinal cord injury. Spinal Cord, 59(8), 933–934. https://doi.org/10.1038/s41393-021-00654-0
7. Fehlings, M. G., Tetreault, L., Wilson, J. R., Aarabi, B., Anderson, P. A., Arnold, P. M., Brodke, D. S., Burns, A. S., Chiba, K., Dettori, J. R., Furlan, J. C., Hawryluk, G. W. J., Holly, L. T., Howley, S., Jeji, T., Kalsi-Ryan, S., Kotter, M., Kurpad, S. N., Marino, R. J., … Harrop, J. S. (2017). A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Acute Spinal Cord Injury and Central Cord Syndrome: Recommendations on the Timing (≤24 Hours Versus >24 Hours) of Decompressive Surgery. Global Spine Journal, 7(3_suppl), 195S–202S. https://doi.org/10.1177/2192568217706367
8. Stahel, P. F., Flierl, M. A., Moore, E. E., Smith, W. R., Beauchamp, K. M., & Dwyer, A. P. (2009). Advocating "spine damage control" as a safe and effective treatment modality for unstable thoracolumbar fractures in polytrauma patients: a hypothesis. Journal of Trauma Management & Outcomes, 3(1), 6. https://doi.org/10.1186/1752-2897-3-6
9. Sterner, R. C., Sterner, R. C., Sterner, R. M., & Sterner, R. M. (2023). Immune response following traumatic spinal cord injury: Pathophysiology and therapies. Frontiers in Immunology, 13, 1084101. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1084101
10. Sun, X., Jones, Z. B., Chen, X.-m., Zhou, L., So, K., & Ren, Y. (2016). Multiple organ dysfunction and systemic inflammation after spinal cord injury: a complex relationship. Journal of Neuroinflammation, 13(1), 260. https://doi.org/10.1186/s12974-016-0736-y
11. Volpin, G., Pfeifer, R., Saveski, J., Hasani, I., Cohen, M., & Pape, H. (2020). Damage control orthopaedics in polytraumatized patients- current concepts. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma, 12(1), 72–82. https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.10.018
12. Fehlings, M. G., Vaccaro, A. R., Wilson, J. R., Singh, A., Cadotte, D. W., Harrop, J. S., Aarabi, B., Shaffrey, C. I., Dvorak, M. F., Fisher, C. G., Arnold, P. M., Massicotte, E. M., Lewis, S. J., & Rampersaud, R. (2012). Early versus Delayed Decompression for Traumatic Cervical Spinal Cord Injury: Results of the Surgical

Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). Plos ONE, 7(2), e32037. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032037
13. Cengiz, Ş. L., Kalkan, E., Bayır, A., Ilik, K., & Basefer, A. (2007). Timing of thoracolomber spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (rct) randomized controlled study. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 128(9), 959–966. https://doi.org/10.1007/s00402-007-0518-1
14. Ratto, N. (2013). Early Total Care versus Damage Control: Current Concepts in the Orthopedic Care of Polytrauma Patients. ISRN Orthopedics, 2013, 1–9. https://doi.org/10.1155/2013/329452
15. Kwon, B. K., Streijger, F., Fallah, N., Noonan, V. K., Bélanger, L., Ritchie, L., Paquette, S., Ailon, T., Boyd, M., Street, J., Fisher, C. G., & Dvorak, M. F. (2016). Cerebrospinal Fluid Biomarkers To Stratify Injury Severity and Predict Outcome in Human Traumatic Spinal Cord Injury. Journal of Neurotrauma, 34(3), 567–580. https://doi.org/10.1089/neu.2016.4435

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.011.189-194

ASSOCIATION BETWEEN TSH RECEPTOR ANTIBODY LEVELS AND CLINICAL ACTIVITY IN THYROID EYE DISEASE

Baskarayeva Tokzhan Sultanbekkyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Mukhtarova Aigerim Yerkinkyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Kalibek Gulnaz Nurlankyzy
5th Year bachelor student
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Sakhtash Nuraina Ongarbaikyzy
7th year intern
Kazakh Medical University, Almaty. Kazakhstan

ABSTRACT

Background. Clinical activity guides treatment in thyroid eye disease (TED), but the Clinical Activity Score (CAS) is partly subjective. TSH receptor antibodies may provide an objective complementary marker.

Aim. To quantify the association between TSH receptor antibody levels and CAS and compare functional TSI/TSAb assays with binding TRAb/TBII assays.

Methods. A focused systematic review and random-effects meta-analysis of observational studies was performed. Correlations were pooled after Fisher's z transformation.

Results. Nine studies were included. Functional TSI/TSAb assays showed a moderate pooled correlation with CAS (r = 0.533; 95% CI 0.261–0.727; I^2 = 91.8%), whereas binding TRAb/TBII assays showed a weaker association (r = 0.310; 95% CI 0.049–0.532; I^2 = 55.9%).

Conclusions. TSH receptor antibodies reflect TED activity, but assay type and clinical context strongly influence their performance. Antibody testing should complement rather than replace ophthalmological assessment.

Keywords: thyroid eye disease; Graves' orbitopathy; TSH receptor antibodies; TSI; TRAb; Clinical Activity Score; meta-analysis.

INTRODUCTION

Thyroid eye disease, also termed Graves' orbitopathy, is an autoimmune inflammatory disorder of the orbital soft tissues, extraocular muscles, and eyelids. The disease usually passes through an active inflammatory phase followed by a more stable fibrotic phase. Distinguishing these stages is clinically important because immunomodulatory therapy is most effective during active inflammation, while rehabilitative surgery is usually delayed until disease stability.

CAS is the most widely used clinical measure of activity. It is practical, but some components depend on examiner judgment and may be influenced by previous treatment, disease duration, or mild presentation. A laboratory marker could therefore strengthen activity assessment, particularly when clinical findings are borderline.

TSH receptor antibodies are biologically relevant to both Graves' disease and TED. However, available tests are not interchangeable. Cell-based TSI/TSAb bioassays measure receptor stimulation, bridge-based TSI immunoassays preferentially detect stimulating antibodies without measuring a cellular response, and TRAb/TBII assays measure inhibition of receptor binding [2]. A previous systematic review found promising but heterogeneous results and highlighted the difficulty of comparing different assays [3]. The present study therefore analyzes functional and binding methods separately.

AIM

To quantify the association between TSH receptor antibody levels and CAS and to compare functional TSI/TSAb assays with binding TRAb/TBII assays.

OBJECTIVES

The objectives were to pool correlations between antibody levels and CAS, compare assay classes, assess heterogeneity, summarize diagnostic performance for active TED, and identify factors limiting the clinical interpretation of antibody measurements.

METHODS

A focused systematic review was conducted according to PRISMA 2020 principles [13]. PubMed, Europe PMC, and reference lists were searched through July 19, 2026 using combinations of “thyroid eye disease,” “Graves orbitopathy,” “TSI,” “TSAb,” “TRAb,” “TBII,” and “clinical activity score.”

Eligible studies included adults with diagnosed TED, measured serum TSH receptor antibodies, and reported an extractable Pearson or Spearman correlation with CAS. Reviews, case reports, studies without separate TED data, and overlapping reports were excluded from the same pooled model. When several assays were measured in the same cohort, one effect was used within each assay-specific analysis. Assays were classified as cell-based functional TSI/TSAb, bridge-based TSI, or binding TRAb/TBII. The primary outcome was the correlation between antibody level and CAS. Correlations were transformed to Fisher’s z and pooled with a random-effects model using restricted maximum likelihood and Hartung–Knapp confidence intervals [14]. Heterogeneity was assessed with Cochran’s Q, I^2, and τ^2. Study quality was considered through participant selection, assay validity, definition of activity, treatment status, and handling of repeated observations.

RESULTS

Nine original studies were included [4–12]. Their populations differed in disease duration, treatment exposure, ethnicity, assay platform, and distribution of CAS, allowing assessment of the consistency of the relationship across different clinical settings. The principal methodological concerns were cross-sectional design, incomplete adjustment for confounding, and non-independent observations in one study.

Six studies contributed to the functional TSI/TSAb analysis. Gerding et al. reported a moderate association between TSI and CAS ($r = 0.50$) in 63 untreated patients [4]. Ponto et al. observed the strongest relationship ($r = 0.83$) in 108 untreated patients [5]. Jeon et al. found $r = 0.528$ in 101 patients [8], whereas Lai et al. reported a weaker correlation of $r = 0.28$ in a larger prospective cohort of 255 treatment-naïve patients [10]. Hötte et al. found $r = 0.42$ for the Turbo TSI bioassay [11], and Jang et al. reported $r = 0.476$ for Mc4-TSI [12]. Across 700 assay-specific participants, the pooled correlation for functional assays was $r = 0.533$ (95% CI 0.261–0.727; $p = 0.006$). This represents a moderate positive association: higher stimulating-antibody activity was generally accompanied by greater clinical inflammation. However, heterogeneity was high ($Q = 61.32$; $I^2 = 91.8\%$; $\tau^2 = 0.089$). The result therefore describes an average association rather than a universal effect expected in every population.

The study by Ponto et al. had the largest influence [5]. After its exclusion, the pooled correlation remained significant at $r = 0.427$ (95% CI 0.287–0.549), while I^2 decreased to 54.6%. Thus, the conclusion did not depend on a single study, although the expected strength of association became more moderate.

Four studies contributed to the binding TRAb/TBII analysis. Reported correlations were $r = 0.54$ in Gerding et al. [4], $r = 0.278$ in Nicolì et al. [6], $r = 0.25$ in

Hötte et al. [11], and r = 0.20 for third-generation TBII in Jang et al. [12]. Across 375 participants, the pooled correlation was r = 0.310 (95% CI 0.049–0.532; p = 0.033; I^2 = 55.9%). Excluding the older Gerding study reduced the pooled value to r = 0.240 and eliminated residual heterogeneity, suggesting that contemporary binding assays show a consistent but relatively weak relationship with CAS.

Two studies required separate interpretation. Moledina et al. reported positive correlations for bridge-based TSI (ρ = 0.357) and TRAb (ρ = 0.439), but some patients contributed repeated clinical episodes, so these observations were not pooled as independent data [9]. Bayarmunkh et al. found no meaningful association between CAS and ELISA-based TSI or TSHR-Ab [7]. Because this ELISA method differed from validated functional and competitive assays, the study was retained as important negative evidence but excluded from the primary models.

Secondary findings supported the same overall pattern. Jeon et al. found higher TSI concentrations in active than inactive TED and reported an area under the curve of 0.847 for identifying active disease [8]. Lai et al. reported an AUC of 0.67 [10], while Hötte et al. reported 0.75 for Turbo TSI and 0.67 for TBII [11]. These differences show that diagnostic performance depends on the population and platform. Proposed thresholds also used different units and therefore could not be combined into a universal cut-off.

Functional assays were also more consistently related to disease severity. Ponto et al. reported a strong correlation with severity [5], and Jang et al. found that Mc4-TSI was associated with soft-tissue involvement, proptosis, and extraocular muscle involvement more consistently than TBII [12]. By contrast, Nicolì et al. found that TRAb correlated with CAS but not with several structural severity measures [6]. Overall, antibody levels appeared more closely related to current inflammatory activity than to all structural and functional consequences of TED.

DISCUSSION

The analysis demonstrates that TSH receptor antibodies provide clinically relevant information about TED activity, but the magnitude of association depends on assay type. Functional TSI/TSAb assays showed a moderate pooled correlation with CAS, while binding TRAb/TBII assays showed a weaker relationship. This is biologically plausible because functional bioassays measure receptor activation, whereas binding assays do not distinguish stimulating, blocking, and neutral antibody effects [2].

Direct within-study comparisons support this interpretation [5,11,12]. Nevertheless, the pooled estimates do not prove definitive superiority of functional assays because several comparisons were obtained from the same patients and the covariance between assay results was unavailable. In addition, functional platforms differ in receptor constructs, reporter systems, calibration, and reporting units.

High heterogeneity is the main limitation of the functional model. Disease duration, previous treatment, smoking, thyroid status, ethnicity, CAS range, and laboratory methods varied across studies. The antibody–activity relationship may be stronger in early untreated disease and weaker in chronic or previously treated TED.

Pearson and Spearman coefficients were also combined as measures of association, although they are not statistically identical.

The findings do not support replacing CAS with a blood test. Diagnostic AUC values ranged from 0.67 to 0.847, and no threshold was externally validated across platforms [8,10,11]. Antibody testing may be most useful when CAS is borderline, when clinical findings are discordant, or when serial assessment is required. Interpretation should remain integrated with visual function, ocular motility, proptosis, corneal status, imaging, and EUGOGO severity [1].

Strengths of this review include separation of assay classes, use of assay-specific sample sizes, inclusion of negative evidence, and sensitivity analyses. Its principal limitations are the small number of independent studies, predominantly cross-sectional designs, inconsistent adjustment for confounders, repeated observations in one study, and absence of individual-patient data. Publication bias could not be assessed reliably because fewer than ten independent studies contributed to each model.

The results have a practical implication. A high functional TSI or TSAb result may strengthen evidence of ongoing autoimmune activity but cannot independently determine whether immunosuppressive treatment is required. Conversely, a low antibody result cannot exclude clinically active disease. The laboratory result should therefore be interpreted as one component of a combined endocrinological and ophthalmological assessment.

Future multicenter studies should compare functional, bridge-based, and binding assays in the same treatment-naïve patients. Blood sampling and CAS assessment should be performed on the same day, and studies should report disease duration, smoking, thyroid function, treatment exposure, exact assay platform, and both continuous and categorical activity outcomes. External validation is also required before any assay-specific cut-off can be recommended.

CONCLUSIONS

Serum TSH receptor antibody levels are positively associated with clinical activity in thyroid eye disease. Functional TSI/TSAb bioassays demonstrated a moderate pooled correlation with CAS, whereas binding TRAb/TBII assays showed a weaker but still significant association. This difference may reflect the ability of functional assays to measure direct TSH receptor stimulation rather than antibody binding alone. However, substantial between-study heterogeneity, differences in assay platforms, and variability in disease duration and treatment status limit the use of antibody levels as independent indicators of activity. No universal antibody threshold can currently distinguish active from inactive TED across different laboratories. Therefore, TSH receptor antibody testing should be used as a complementary biomarker alongside CAS, ophthalmological examination, disease severity assessment, and relevant imaging findings. Further prospective multicenter studies using standardized assay methods and simultaneous clinical evaluation are required to clarify the comparative value of functional and binding assays and to establish externally validated, assay-specific clinical thresholds.

References

1. Bartalena L, Kahaly GJ, Baldeschi L, et al. The 2021 European Group on Graves' orbitopathy clinical practice guidelines for the medical management of Graves' orbitopathy. Eur J Endocrinol. 2021;185(4)–G67. doi:10.1530/EJE-21-0479.
2. Diana T, Ponto KA, Kahaly GJ. Thyrotropin receptor antibodies and Graves' orbitopathy. J Endocrinol Invest. 2021;44:703–712. doi:10.1007/s40618-020-01380-9.
3. Seo S, Sánchez Robledo M. Usefulness of TSH receptor antibodies as biomarkers for Graves' ophthalmopathy: a systematic review. J Endocrinol Invest. 2018;41:1457–1468. doi:10.1007/s40618-018-0945-6.
4. Gerding MN, van der Meer JWC, Broenink M, et al. Association of thyrotrophin receptor antibodies with the clinical features of Graves' ophthalmopathy. Clin Endocrinol (Oxf). 2000;52:267–271. doi:10.1046/j.1365-2265.2000.00959.x.
5. Ponto KA, Kanitz M, Olivo PD, et al. Clinical relevance of thyroid-stimulating immunoglobulins in Graves' ophthalmopathy. Ophthalmology. 2011;118:2279–2285. doi:10.1016/j.ophtha.2011.03.030.
6. Nicolì F, Lanzolla G, Mantuano M, et al. Correlation between serum anti-TSH receptor autoantibodies and the clinical features of Graves' orbitopathy. J Endocrinol Invest. 2021;44:581–585. doi:10.1007/s40618-020-01353-y.
7. Bayarmunkh O, Ganbold C, Das S, et al. Association of clinical course with thyroid-stimulating immunoglobulin in Graves' ophthalmopathy in Mongolians. PLoS One. 2022;17(11). doi:10.1371/journal.pone.0277055.
8. Jeon H, Lee JY, Kim YJ, Lee MJ. Clinical relevance of thyroid-stimulating immunoglobulin as a biomarker of the activity of thyroid eye disease. Eye (Lond). 2023;37:543–547. doi:10.1038/s41433-022-01981-z.
9. Moledina M, Roos J, Murthy R. Thyrotropin receptor autoantibody assessment in thyroid eye disease: Does the assay type matter? Korean J Ophthalmol. 2023;37:147–156. doi:10.3341/kjo.2022.0131.
10. Lai KKH, Aljufairi FMAA, Sebastian JU, et al. Epidemiology of thyroid-stimulating immunoglobulin in recent-onset symptomatic thyroid eye disease. Eur Thyroid J. 2024;13(4). doi:10.1530/ETJ-23-0129.
11. Hötte GJ, de Bie M, de Keizer ROB, et al. Clinical performance of a novel and rapid bioassay for detection of thyroid-stimulating immunoglobulins in Graves' orbitopathy patients: a comparison with two commonly used immunoassays. Front Endocrinol (Lausanne). 2024;15:1469179. doi:10.3389/fendo.2024.1469179.
12. Jang SY, Shin DY, Lee EJ, et al. Correlation between TSH receptor antibody assays and clinical manifestations of Graves' orbitopathy. Yonsei Med J. 2013;54:1033–1039. doi:10.3349/ymj.2013.54.4.1033.
13. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. 2021;372. doi:10.1136/bmj.n71.
14. Welz T, Doebler P, Pauly M. Fisher transformation-based confidence intervals of correlations in fixed- and random-effects meta-analysis. Br J Math Stat Psychol. 2022;75:1–22. doi:10.1111/bmsp.12242.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.012.195-202

BRIDGING THE GAP BETWEEN CLINICAL RECOMMENDATIONS AND ACCESS TO SPECIALIZED CARE FOR ADOLESCENTS WITH MENSTRUAL DISORDERS IN KAZAKHSTAN

Berdigali Akniyet Gainikyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Nogoibaeva Madina Maratovna
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Oralbek Ayazhan Erlankyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Raupova Takhmina Ulugbekkyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Kazakhstan Medical University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

Menstrual disorders are a leading reason for adolescent gynecological consultations in Kazakhstan, impacting their health and education. While evidence-based clinical guidelines exist nationally, actual access to specialized care remains uneven. This study analyzed the gap between official recommendations and healthcare accessibility by reviewing national protocols, epidemiological data, and international standards. Findings show that despite universal coverage and youth centers, actual healthcare utilization is low, even though regional data indicates menstrual abnormalities affect up to 85.7% of adolescents. Cultural stigma, low health literacy, and regional specialist shortages delay diagnosis. The main challenge is implementing standards, requiring targeted educational and policy reforms.

Keywords: adolescent gynecology; menstrual disorders; reproductive health; healthcare accessibility; Kazakhstan; adolescent health; specialized care.

Introduction

Menstrual disorders constitute one of the leading gynecological health concerns during adolescence and are increasingly recognized as an important public health issue rather than an isolated clinical problem. Irregular menstrual cycles, dysmenorrhea, abnormal uterine bleeding, and ovulatory dysfunction may substantially impair

adolescents' quality of life, educational achievement, psychological well-being, and future reproductive health if timely diagnosis and appropriate treatment are not provided. The World Health Organization identifies menstrual health as an essential component of sexual and reproductive health and emphasizes that equitable access to accurate information, timely diagnosis, and evidence-based healthcare services is fundamental to achieving universal health coverage and improving adolescent health outcomes worldwide [1]. Kazakhstan has strengthened adolescent reproductive healthcare by establishing Youth Health Centres, implementing Mandatory Social Health Insurance, expanding the Guaranteed Benefit Package of Free Medical Care, and introducing national clinical protocols for adolescent gynecological disorders [2,14,15]. These initiatives demonstrate a clear commitment to aligning national clinical practice with internationally accepted standards and improving the availability of adolescent-friendly healthcare services. Despite these reforms, menstrual disorders remain highly prevalent. A cross-sectional study from Turkistan reported abnormalities in 85.7% of adolescents, while dysmenorrhea, irregular menstruation and delayed menstruation were the most common complaints [4]. Other national studies also indicate increasing recognition of endometriosis and PCOS among young women [5–9]. However, epidemiological estimates likely underestimate the true disease burden because a substantial proportion of adolescents do not seek professional medical care despite experiencing clinically significant symptoms.

The discrepancy between the existence of evidence-based clinical recommendations and the relatively limited utilization of specialized gynecological services represents an important healthcare challenge. Previous studies have identified multiple barriers affecting adolescents' healthcare-seeking behavior, including limited reproductive health literacy, sociocultural stigma surrounding menstruation, fear of disclosure, regional inequalities in healthcare resources, and shortages of specialized professionals in rural areas [2–5,10]. Consequently, the effectiveness of national clinical protocols depends not only on their scientific validity but also on adolescents' ability to access appropriate healthcare services in a timely manner.

Although individual studies have examined the epidemiology of menstrual disorders, reproductive health knowledge, or specific components of healthcare delivery in Kazakhstan, relatively few publications have integrated these findings within a broader health systems perspective. In particular, limited attention has been devoted to evaluating the relationship between existing clinical recommendations and their implementation within routine adolescent healthcare services. Addressing this evidence gap is essential for identifying organizational barriers that continue to impede effective healthcare delivery despite the availability of comprehensive clinical guidance. Therefore, this study aimed to analyze the gap between clinical recommendations and access to specialized adolescent gynecological care in Kazakhstan by synthesizing epidemiological evidence, national health policies, and international clinical recommendations.

Materials and Methods

This study employed a narrative analytical design with elements of comparative policy and evidence synthesis to examine the relationship between existing clinical recommendations and the accessibility of specialized healthcare services for adolescents with menstrual disorders in Kazakhstan. The evidence base consisted of peer-reviewed scientific publications, official documents issued by the Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan, and recommendations published by international professional organizations, including the World Health Organization (WHO), the International Federation of Gynecology and Obstetrics (FIGO), the American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG), and the National Institute for Health and Care Excellence (NICE) [1–15]. Recent publications (2020–2026) and internationally accepted clinical guidelines were included.

The analysis was structured around three predefined domains: (1) the epidemiology of adolescent menstrual disorders in Kazakhstan, (2) the organization of specialized adolescent gynecological care and national clinical regulations, and (3) barriers affecting access to specialized healthcare services. Epidemiological indicators, including disease prevalence, healthcare utilization, reproductive health literacy, and regional disparities, were extracted from national observational studies and population-based analyses. Regulatory documents and clinical protocols were examined to evaluate the consistency of Kazakhstan's healthcare framework with internationally accepted standards. A thematic comparative analysis was used to identify recurring epidemiological patterns, organizational barriers, and discrepancies between policy and clinical practice. Ethical approval was not required because only publicly available sources were analyzed.

Results

The analysis of recent epidemiological studies demonstrates that menstrual disorders constitute one of the most prevalent reproductive health problems among adolescent girls in Kazakhstan. Despite differences in study design and population characteristics, the available evidence consistently indicates that menstrual abnormalities are widespread and remain substantially underrecognized within routine healthcare practice [4,5].

The largest cross-sectional study conducted in the Turkistan region included 1,250 adolescent girls with a mean age of 17.3 ± 1.4 years and reported menstrual disorders in 85.7% of menstruating participants [4]. Irregular menstrual cycles accounted for 32.2% of reported disorders, delayed menstruation for 30.8%, and primary dysmenorrhea for 28.6%, indicating that functional menstrual disturbances represent the dominant pattern among Kazakhstani adolescents rather than rare pathological conditions [4]. The mean age at menarche was 13.2 ± 1.2 years, while the average duration of menstrual bleeding was 4.8 ± 1.4 days, both remaining within internationally accepted physiological ranges [4,11]. These findings suggest that menstrual disorders frequently develop despite apparently normal pubertal maturation and therefore require clinical assessment rather than simple reassurance. National studies additionally report increasing recognition of endometriosis and PCOS, although their true prevalence is probably underestimated because of delayed diagnosis

and limited healthcare utilization [5,7–9]. Higher BMI, poor family relationships, alcohol consumption, and lack of routine gynecological visits were significantly associated with menstrual disorders, indicating that adolescent menstrual health is influenced by both biological and psychosocial factors [4].

Table 1. Epidemiological indicators of adolescent menstrual health reported in recent studies conducted in Kazakhstan

Indicator	**Reported value**
Study population	1,250 adolescent girls
Mean age	17.3 ± 1.4 years
Mean age at menarche	13.2 ± 1.2 years
Overall prevalence of menstrual disorders	85.7%
Irregular menstruation	32.2%
Delayed menstruation	30.8%
Primary dysmenorrhea	28.6%
Adolescents seeking gynecological care	17.7%
Adolescents considering gynecological examination important	75.1%
Low reproductive health literacy (STIs and contraception)	>96%

Compiled based on data from [4]

A particularly important finding concerns the discrepancy between symptom prevalence and healthcare utilization. Although three quarters of surveyed adolescents acknowledged the importance of gynecological examinations, only 17.7% reported seeking professional medical care for reproductive health problems. This difference suggests that clinical need alone does not determine healthcare utilization and that multiple barriers continue to prevent adolescents from accessing specialized services. Low reproductive health literacy was another major finding, with over 96% of adolescents demonstrating insufficient knowledge regarding sexually transmitted infections and contraception [4].

Organization of specialized adolescent gynecological care

Kazakhstan has established a relatively comprehensive regulatory framework governing adolescent reproductive healthcare. National clinical protocols regulating abnormal uterine bleeding and dysmenorrhea have incorporated internationally accepted diagnostic criteria and therapeutic recommendations, while specialized Youth Health Centres have been developed to provide confidential and adolescent-friendly reproductive healthcare services [2,14,15]. Collectively, these reforms demonstrate substantial progress toward harmonizing national clinical practice with recommendations issued by WHO, FIGO, ACOG, and NICE [1,11–13]. Reproductive healthcare is provided through the Guaranteed Benefit Package of Free Medical Care and Mandatory Social Health Insurance. Youth Health Centres deliver multidisciplinary adolescent-friendly services integrating pediatric gynecologists, psychologists and primary care professionals [2,15].

Nevertheless, the practical implementation of these organizational measures remains inconsistent across different regions of the country. Although the Youth Health Centre network has expanded considerably during recent years, specialized diagnostic

services and pediatric gynecologists continue to be concentrated primarily within major urban centers, including Astana, Almaty, and Shymkent [2,10]. Rural healthcare facilities frequently experience shortages of trained specialists, limited diagnostic capacity, and reduced availability of adolescent-specific reproductive healthcare services. These regional disparities create unequal opportunities for timely diagnosis and specialist referral despite the existence of nationally standardized clinical protocols.

The reviewed evidence therefore demonstrates an important distinction between formal healthcare availability and effective healthcare accessibility. From a regulatory perspective, Kazakhstan possesses a well-developed framework supporting adolescent gynecological care. However, epidemiological findings indicate that this infrastructure has not yet translated into proportional utilization of specialized services. This discrepancy suggests that organizational capacity alone cannot eliminate barriers to healthcare access and that additional social, educational, and structural factors continue to influence adolescents' healthcare-seeking behavior. These findings provide the basis for a broader interpretation of the relationship between clinical recommendations and their implementation within routine healthcare practice.

Discussion

The findings of this study demonstrate that the principal challenge in adolescent menstrual healthcare in Kazakhstan is not the absence of evidence-based clinical recommendations but the persistent gap between established clinical standards and their implementation in routine healthcare practice. National clinical protocols regulating abnormal uterine bleeding and dysmenorrhea are generally consistent with recommendations issued by the World Health Organization (WHO), the International Federation of Gynecology and Obstetrics (FIGO), the American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG), and the National Institute for Health and Care Excellence (NICE) regarding diagnostic criteria, referral pathways, and treatment approaches [1,11–15]. Nevertheless, epidemiological evidence indicates that many adolescents experiencing clinically significant menstrual disorders either delay or completely avoid seeking specialized medical care [4,5].

One of the most important findings is the marked discrepancy between the prevalence of menstrual disorders and healthcare utilization. The largest cross-sectional study conducted in Kazakhstan reported menstrual abnormalities in 85.7% of adolescents, whereas only 17.7% sought professional gynecological consultation despite 75.1% acknowledging the importance of medical examination [4]. This discrepancy suggests that healthcare utilization is determined not only by the availability of clinical services but also by multiple educational, cultural, and organizational factors. Similar observations have been reported internationally, where adolescents frequently normalize menstrual pain, consider irregular menstruation a normal feature of puberty, or postpone consultation because of embarrassment and concerns regarding confidentiality [1,11].

Limited reproductive health literacy represents another major determinant of delayed healthcare utilization. More than 96% of surveyed adolescents demonstrated insufficient knowledge regarding sexually transmitted infections and modern

contraceptive methods [4]. Poor awareness reduces adolescents' ability to distinguish physiological menstrual variation from symptoms requiring specialist evaluation and contributes to delayed diagnosis of conditions such as polycystic ovary syndrome, endometriosis, and abnormal uterine bleeding. These findings indicate that improving healthcare accessibility should include comprehensive reproductive health education in addition to expanding healthcare infrastructure.

Sociocultural factors continue to substantially influence healthcare-seeking behavior among adolescents. Menstruation and reproductive health remain sensitive topics in many families and communities, while fear of parental disclosure, embarrassment, and misconceptions regarding gynecological consultations discourage adolescents from utilizing Youth Health Centres despite their confidential design [2,3]. Consequently, healthcare accessibility should be viewed not only as the physical availability of services but also as adolescents' willingness and confidence to seek professional medical care.

Regional inequalities further contribute to unequal access to specialized gynecological services. Although Kazakhstan has expanded its Youth Health Centre network and strengthened adolescent reproductive health policy, pediatric gynecologists and advanced diagnostic services remain concentrated primarily in large urban centers [2,10,15]. Adolescents living in rural areas therefore experience longer referral pathways, shortages of qualified specialists, and reduced access to specialized diagnostic investigations, limiting the practical implementation of nationally standardized clinical protocols.

Overall, the findings indicate that Kazakhstan has largely established an evidence-based regulatory framework for adolescent reproductive healthcare, whereas implementation remains the principal challenge. Effective healthcare access depends not only on well-developed clinical protocols but also on adolescents' ability to recognize symptoms, seek timely medical attention, and successfully navigate the healthcare system. Therefore, future healthcare reforms should prioritize improving reproductive health literacy, reducing menstrual stigma, strengthening specialist capacity in underserved regions, and ensuring consistent implementation of existing clinical standards. Such measures are likely to narrow the current gap between clinical recommendations and routine practice, ultimately improving reproductive health outcomes among adolescents in Kazakhstan.

Conclusion

The present study demonstrates that menstrual disorders represent a significant yet insufficiently addressed public health challenge among adolescents in Kazakhstan. Although the country has established a comprehensive regulatory framework and clinical protocols that are generally consistent with international recommendations, substantial barriers continue to limit adolescents' access to specialized gynecological care. The analysis indicates that the existing gap is driven not by the absence of clinical guidance but by limited reproductive health literacy, sociocultural stigma surrounding menstruation and sexual health, regional disparities in healthcare resources, and inconsistent utilization of available adolescent-friendly services. Consequently, many

menstrual disorders remain underdiagnosed despite their high prevalence and the availability of evidence-based management strategies. Reducing this gap requires a multidimensional approach that combines improvements in healthcare accessibility with comprehensive reproductive health education, expansion of adolescent-friendly services in underserved regions, strengthened referral pathways, and measures aimed at reducing social stigma associated with seeking gynecological care. These interventions have the potential to improve early diagnosis, optimize treatment outcomes, and enhance the long-term reproductive health of adolescent girls.

References

1. World Health Organization. (2026). Menstrual health. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/menstrual-health
2. World Health Organization Regional Office for Europe. (2020). On the path to better sexual and reproductive health services for adolescents in Kazakhstan. https://www.who.int/europe/news-room/21-10-2020-on-the-path-to-better-sexual-and-reproductive-health-services-for-adolescents-in-kazakhstan
3. United Nations Population Fund Kazakhstan. (2024). Advancing adolescent health through policy and legislation. https://kazakhstan.unfpa.org
4. Ryskeldiyeva, K., Moldaliyev, I., Tuktibaeva, S., Nurkhasimova, R., Kurbaniyazova, S., Kushkarova, A., & Ramanova, S. (2023). Knowledge, attitude and practice of adolescent girls towards reproductive health: A cross-sectional study in Turkistan region, Kazakhstan. Future Science OA, 9(3), FSO840. https://doi.org/10.2144/fsoa-2022-0054
5. Kurbaniyazova, S., Nurkhasimova, R., Ayazbekov, A., Khudaibergenova, S., Kulbayeva, S., Mirzakhmetova, D., & Ryskeldiyeva, K. (2026). Systematic review of the literature: Estimation of the most common gynecological disorders and associated factors among Kazakhstani adolescents. Future Science OA. https://doi.org/10.1080/20565623.2025.2599726
6. Donayeva, A., Amanzholkyzy, A., Abdelazim, I., et al. (2023). The impact of primary dysmenorrhea on adolescents' activities and school attendance. Journal of Medicine and Life, 16(10), 1462–1467. https://doi.org/10.25122/jml-2023-0247
7. Aimagambetova, G., Sakko, Y., Ukybassova, T., et al. (2024). Epidemiology of endometriosis in Kazakhstan: A national population-based cohort analysis (2014–2019) using data from the national electronic healthcare system. Frontiers in Medicine, 11, 1436458. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1436458
8. Madikyzy, M., Durmanova, A., Trofimov, A., et al. (2024). Evaluation of biochemical serum markers for the diagnosis of polycystic ovary syndrome (PCOS) in obese women in Kazakhstan. Biomedicines, 12(10), 2333. https://doi.org/10.3390/biomedicines12102333
9. Sakko, Y., Aimagambetova, G., Terzic, M., et al. (2022). The prevalence, indications, outcomes of the most common major gynecological surgeries in Kazakhstan and recommendations for potential improvements into public health and

clinical practice. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(22), 14679. https://doi.org/10.3390/ijerph192214679
10. Zhetpisbayeva, I., Rommel, A., Kassymbekova, F., et al. (2024). Cervical cancer trend in the Republic of Kazakhstan and attitudes towards cervical cancer screening in urban and rural areas. Scientific Reports, 14, 13731. https://doi.org/10.1038/s41598-024-64566-8
11. American College of Obstetricians and Gynecologists. (2015). Menstruation in girls and adolescents: Using the menstrual cycle as a vital sign. Committee Opinion No. 651. https://www.acog.org
12. National Institute for Health and Care Excellence. (2025). Heavy menstrual bleeding: Assessment and management (NG88). https://www.nice.org.uk
13. International Federation of Gynecology and Obstetrics. (2023). FIGO recommendations on normal and abnormal uterine bleeding in reproductive-age women. International Journal of Gynecology & Obstetrics.
14. Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. (2020). Order No. ҚР ДСМ-285/2020 on the organization of medical care for the protection of reproductive and mental health of minors and youth.
15. Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. (2023). Clinical Protocol No. 101: Abnormal Uterine Bleeding; Clinical Protocol No. 109: Dysmenorrhea.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.013.202-205

PRE-IMPLANTATION ASSESSMENT OF CARIES INTENSITY AND ORAL HYGIENE IN PATIENTS WITH PERIODONTITIS AND SECONDARY EDENTULISM

Shkipor Vladyslav
Postgraduate student
https://orcid.org/0009-0001-8996-0408
Bandrivsky Yurii
Doctor of Medical Sciences, Professor
Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics
I. Horbachevsky Ternopil National Medical University
Ternopil, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-4103-3664

Abstract. This article presents the findings of a comprehensive dental evaluation of 119 patients presenting with secondary edentulism and concomitant dystrophic-inflammatory periodontal diseases during the preparatory phase for dental implantation. A direct age-related correlation was established between the deterioration of oral hygiene indicators (according to the OHI-S index) and the increase in caries intensity (according to the ICDAS-II system). It has been proven that the

presence of active demineralization and a high microbial burden in older age groups with stage II-IV periodontitis constitutes a risk factor that can negatively affect the osseointegration of titanium constructs. The obtained data substantiate the necessity of meticulous pre-implantation sanitation and the correction of the patient's hygienic status.

Keywords: periodontitis, secondary edentulism, dental implantation, ICDAS-II, OHI-S, microbial biofilm.

Introduction. Achieving long-term success in dental implantation directly depends on the quality and stability of osseointegration processes [1]. Patients with secondary edentulism against the background of dystrophic-inflammatory periodontal diseases represent a particular risk group. It is well established that the presence of periodontopathogenic microflora and a decrease in the local resistance of oral tissues significantly increase the likelihood of developing mucositis and peri-implantitis [2]. The persistence of aggressive gram-negative anaerobes in periodontal pockets can disrupt the initial stages of fibrin clot formation around the implant, suppressing osteoblast proliferation and provoking early bone resorption [3]. Simultaneously, the intensity of the carious process and the level of individual hygiene serve as objective markers of the cariogenic and periodontopathogenic microbial burden [4]. Moreover, the accumulation of comorbid dental pathologies is observed in such patients with advancing age, which complicates the course of reparative osteogenesis [5]. However, the correlation of these indicators in patients of different age groups specifically at the surgical planning stage remains insufficiently highlighted in the available professional literature, rendering our study clinically highly relevant.

Aim. To conduct a comprehensive assessment of caries intensity and oral hygiene status in patients with secondary edentulism and varying degrees of periodontitis severity, in order to optimize pre-implantation preparation and minimize the risks of osseointegration failure.

Materials and Methods. A comprehensive assessment of the dental status of 119 patients with stage I-IV periodontitis and concomitant secondary edentulism was conducted as part of a clinical study at the private dental clinic «Studio of Aesthetic Dentistry» (Ternopil) and the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics of I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine. To detail the obtained data and identify age-related patterns, all examined individuals were divided into four clinical groups: the first group consisted of subjects aged 18-25 years (n=3), the second – patients aged 26-36 years (n=25), the third – 37-47 years (n=37), and the largest fourth group comprised older patients aged 48 to 60 years (n=54).

The distribution of patients by stage and grade of periodontitis was carried out in accordance with the 2017 Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions [6]. The presence of dental arch defects was determined using the Kennedy classification [7]. The intensity of the carious process was evaluated using the criteria of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) [8], while the level of oral hygiene was assessed using the Green-Vermillion index (OHI-S) [9]. Statistical analysis was performed in Statistica 10.0 software utilizing Student's t-test

(for samples with normal distribution), the non-parametric Mann-Whitney U test (for groups with small sample sizes), and analysis of variance (ANOVA); data are presented as M±m, and differences were considered statistically significant at $p<0.05$.

Results and discussion. The conducted research revealed (Table 1) that in patients with secondary edentulism associated with periodontitis, the mean value of the ICDAS-II caries intensity index was 2.97±0.98 points, indicating the presence of active enamel and dentin demineralization processes against a background of reduced overall caries resistance of the dental hard tissues.

Simultaneously, in the younger age groups, the minimum values of the studied parameter ranged from 1.24±0.82 points in subjects aged 18-25 years to 2.35±0.90 points in those aged 26-36 years, $p>0.05$. In the older age groups, the ICDAS-II values increased substantially, amounting to 3.10±0.99 points in 37-47-year-old patients, $p<0.05$, $p_1>0.05$, and reaching 5.20±1.21 points in the 48-60 years age group, $p\text{-}p_1<0.01$.

Concurrently, the mean value of the OHI-S hygiene index in patients with secondary edentulism was 2.35±0.10 points, indicating unsatisfactory oral hygiene across the entire surveyed cohort. A detailed analysis revealed that with an increase in the patients' age, the OHI-S values also increased: from 1.94±0.07 points in 18-25-year-old subjects to 2.90±0.13 points in patients aged 48-60 years, $p\text{-}p_1<0.01$, $p_2<0.05$.

Table 1 – Values of caries intensity and oral hygiene indices in patients of different ages depending on the stage and grade of periodontitis

Age (years)	Stage	Grade	ICDAS-II	OHI-S
18-25 years, (n=3)	I-III	A-B	1.24±0.82	1.94±0.07
26-36 years, (n=25)	I-III	A-C	2.35±0.90	2.08±0.09
37-47 years, (n=37)	I-III	A-C	3.10±0.99••	2.49±0.11•, **
48-60 years, (n=54)	II-IV	B-C	5.20±1.21•, *	2.90±0.13•, *, ΔΔ
Mean value			2.97±0.98	2.35±0.10

Notes:
•$p<0.01$; ••$p<0.05$ – significant difference in values compared to data of 18-25-year-old patients;
*$p_1<0.01$; **$p_1<0.05$ – significant difference in values compared to data of 26-36-year-old patients;
ΔΔ $p_2<0.05$ – significant difference in values compared to data of 37-47-year-old patients.

The obtained clinical data suggest that increasing patient age and the progression of the periodontitis stage are accompanied by a parallel deterioration in hygienic status and an increase in cariogenic burden. Such persistence of an aggressive bacterial biofilm within the oral cavity constitutes a highly unfavorable prognostic background. During dental implantation under these conditions, the risk of osteotomy site infection increases significantly, which can lead to the disruption of primary osseointegration mechanisms and the development of early destructive complications around the endosseous implants.

Conclusion. The research results confirm that patients with secondary edentulism and concomitant periodontitis are characterized by a high level of cariogenic and

microbial burden, which significantly increases with age. The detected unsatisfactory hygiene indicators (OHI-S – 2.90±0.13 in the older age group) and the high intensity of active demineralization (ICDAS-II – 5.20±1.21) provide evidence of a resilient pathogenic biofilm. In the context of dental implantation planning, such parameters act as critical predictors of osseointegration failure and the development of early peri-implantitis. Therefore, achieving long-term success in implantological treatment for this category of patients is impossible without preliminary intensive periodontal preparation, complete sanitation of carious foci, and strict control of individual oral hygiene.

References

1. Guglielmotti, M. B., Olmedo, D. G., Cabrini, R. L. (2019). Research on implants and osseointegration. Periodontology 2000, 79(1), 178–189. https://doi.org/10.1111/prd.12254
2. Sousa, V., Mardas, N., Farias, B., Petrie, A., Needleman, I., Spratt, D., Donos, N. (2016). A systematic review of implant outcomes in treated periodontitis patients. Clinical Oral Implants Research, 27(7), 787–844. https://doi.org/10.1111/clr.12684
3. Bandrivsky, Y., Shkipor, V., Bandrivska, O. (2026). Contemporary strategies for optimizing dental implant osseointegration in periodontally compromised patients (systematic review). Kharkiv Dental Journal, 3(1(7), 160–180. https://doi.org/10.26565/3083-5607-2026-7-12
4. Rajasekaran, J. J., Krishnamurthy, H. K., Bosco, J., Jayaraman, V., Krishna, K., Wang, T., Bei, K. (2024). Oral Microbiome: A Review of Its Impact on Oral and Systemic Health. Microorganisms, 12(9), 1797. https://doi.org/10.3390/microorganisms12091797
5. Guadarrama Bello, D., Variola, F., Nanci, A. (2026). Bone Healing Around Implants in Normal and Medically Compromised Conditions: Osteoporosis and Diabetes. Advanced healthcare materials, 15(16), e04701. https://doi.org/10.1002/adhm.202504701
6. Caton, J. G., Armitage, G., Berglundh, T., Chapple, I. L. C., Jepsen, S., Kornman, K. S., Mealey, B. L., Papapanou, P. N., Sanz, M., Tonetti, M. S. (2018). A new classification scheme for periodontal and peri-implant diseases and conditions – Introduction and key changes from the 1999 classification. Journal of Clinical Periodontology, 45(20), S1–S8. https://doi.org/10.1111/jcpe.12935
7. Carr, A. B., Brown, D. T. (2015). McCracken's Removable Partial Prosthodontics (13th ed.). Elsevier.
8. Rai, A., Sundas, S., Dhakal, N., Khapung, A. (2024). Assessment of Severity and Pattern of Early Childhood Caries Using ICDAS II Criteria: A Descriptive Cross-sectional Study. JNMA; journal of the Nepal Medical Association, 62(278), 639–645. https://doi.org/10.31729/jnma.8782
9. Garg, S., & Nasir, S. (2024). Comparative evaluation of oral hygiene status by using oral hygiene index, simplified oral hygiene index, and modified oral hygiene index: Revalidation of modified oral hygiene index. Journal of Indian Society of Periodontology, 28(4), 461–467. https://doi.org/10.4103/jisp.jisp_399_23

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.014.206-212

THE POST-DISCHARGE MORTALITY GAP AFTER STROKE IN KAZAKHSTAN: A SECONDARY ANALYSIS OF NATIONAL REGISTRY DATA

Burakhanova Zarina Nurmukhanovna
7th year intern
Aitzhanova Gulnur Duisenbekkyzy
7th year intern
Berdaliyeva Luiza Gairat kyzy
7th year intern
Temirbayeva Maryamgul Maratovna
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan

Abstract. This second data analysis was a secondary analysis of aggregate mortality data to explore the concentration of mortality after stroke by place and by stroke subtypes in Kazakhstan. The national registry results for 177,947 admissions were reanalysed and triangulated with country estimates from the World Health Organisation (WHO) and current guidance. 61.1% of the 60,060 deaths happened after discharge. In hospital mortality was higher than post-discharge mortality in ischaemic stroke (2.32:1); acute death predominated in haemorrhagic stroke subtypes. The all cause mortality rate went up 80.9%, while the in-hospital mortality rate increased by 12.9%. The results have implications for acute care and long-term, structured secondary prevention, by subtype.

Keywords: stroke, Kazakhstan, post-discharge mortality, ischaemic stroke, intracerebral haemorrhage, secondary prevention, rehabilitation.

Introduction

Stroke continues to be a significant cause of death and disability in the nervous system. In 2021, the World Health Organization (WHO) estimated that there were 11.9 million new cases, 160 million DALYs and 93.8 million prevalent cases worldwide [1]. A separate analysis of the Global Burden of Disease 2021 similarly revealed that most stroke burden is associated with modifiable exposures, specifically air pollution, high blood pressure, smoking, high low-density lipoprotein cholesterol, hyperglycaemia and unhealthy diet [2]. It is therefore as crucial as the acute care to get the organisation of care right after the acute event.

The evidence base is particularly relevant for a country-level analysis in Kazakhstan. According to country estimates by WHO, stroke is among the top causes of death with a mortality rate of 112.4 deaths per 100,000 people in 2021 [3]. A national registry of administrative hospitalizations for acute ischaemic stroke (AIS),

intracerebral haemorrhage (ICH) and subarachnoid haemorrhage (SAH) in 2014-19 was then used to describe 177,947 hospitalizations [4]. The initial study established national incidence and survival patterns and risk factors. The published summary data also allow for another clinically relevant question: the amount of deaths that happen while hospitalized and the amount that happen after hospital discharge? This separation could be useful to distinguish priorities for acute stroke systems from priorities for rehabilitation, secondary prevention and long-term neurological follow-up.

Aim and research question

This was to measure the time between stroke onset and death and the distribution of the subtypes, with the results of the national registry.The intention was to estimate the timing and distribution of stroke subtypes based on results of the national registry. The research question was: What percentage of the deaths in patients with AIS in the hospital during 2014-2019 were observed after discharge and what is the difference between death observed after discharge and stroke subtypes and what does this imply for the national continuum of stroke care?

Materials, sources and analytical approach

A secondary aggregate-data analysis was carried out. The main data source was the nationwide study of Zhakhina et al. which utilized the Unified National Electronic Health System and unique identifiers of the population [4]. The extracted variables were cohort size, number of survivors at the end of the observation period, in-hospital death, subtype, recurrence, diabetes, hypertension, 30-day survival, five-year survival, and mortality-rate endpoints reported.

All-cause deaths were defined as number of individuals who died but were not removed from the cohort. A descriptive post-discharge death count was defined as all-cause deaths minus deaths that occurred in hospital. The post-discharge share was the number of cases that were derived divided by the total number of deaths observed. Post-discharge and in-hospital deaths were compared with ratios. Mortality was calculated from reported survival (100% – survival). Relative risks and absolute percentage-point differences are based on AIS as reference subtype. The percentage change was determined by using the formula: Percentage change = (new value – old value) / old value × 100. The country estimates from 2021 were from the WHO and were only used for context triangulation; the modeled country estimates are also not directly comparable to measures of admission and follow up from registries [3]. There was no meta-analysis or inferential testing, as only one national registry offered comparable counts for subtypes, and no individual-level data and standard errors were available.

Results

The cohort contained 138,542 AIS cases (77.9%), 34,262 ICH cases (19.3%) and 5,143 SAH cases (2.9%). The majority of patients were men (52.7%) and lived in urban areas (63.3%) and 95.5% were admitted urgently. 48.5% had hypertension, 13.2% had diabetes and 5.6% were recalled to have had a recurrence [4].

Table 1 – Derived mortality profile and selected characteristics by stroke subtype

Indicator	**Overall**	**AIS**	**ICH**	**SAH**
Cohort, n	177,947	138,542	34,262	5,143
Share of cohort, %	100.0	77.9	19.3	2.9
All-cause mortality, % of cohort	33.8	32.1	40.3	35.6
In-hospital mortality, % of cohort	13.1	9.6	25.7	23.5
Deaths after discharge, n	36,692	31,041	5,029	622
Post-discharge share of all deaths, %	61.1	69.9	36.4	33.9
Post-discharge / in-hospital death ratio	1.57	2.32	0.57	0.51
30-day mortality, %	—	12.7	28.5	26.6
Five-year mortality, %	—	35.3	42.7	36.9
Hypertension recorded, %	48.5	50.9	40.6	35.4
Diabetes recorded, %	13.2	15.1	6.5	4.8

Note. AIS, acute ischaemic stroke; ICH, intracerebral haemorrhage; SAH, subarachnoid haemorrhage. Counts were extracted from [4]; derived indicators were calculated by the author.

During the observation period, 60,060 people died, representing 33.8% of the cohort. 23,368 people died in hospital. The mortality rate following discharge was thus 61.1% of all deaths observed and 20.6% of all those discharged, or 36,692 per 100,000. Overall, 1.57% of deaths that occurred after discharge died in hospital.

There was a significant variation in the timing by subtype. Of AIS patients, 44,409 deaths were recorded, 13,368 of which were in hospital and 31,041 following discharge. Therefore, 69.9% of all observed deaths of AIS occurred after the discharge and the ratio of post-discharge to in-hospital deaths was 2.32. For ICH, 13,818 deaths occurred, 8,789 of which were in hospital and 5,029 after discharge, representing a 36.4% post-discharge rate and a ratio of 0.57. The figures were 1,833 mortalities, of which 1,211 died in a hospital and 622 after discharge, corresponding to 33.9% and 0.51 of the total mortality for SAH. This is reflected in Figure 1, which shows that long-term mortality was the main cause of death in AIS, whereas acute mortality was the main cause of death in haemorrhagic stroke.

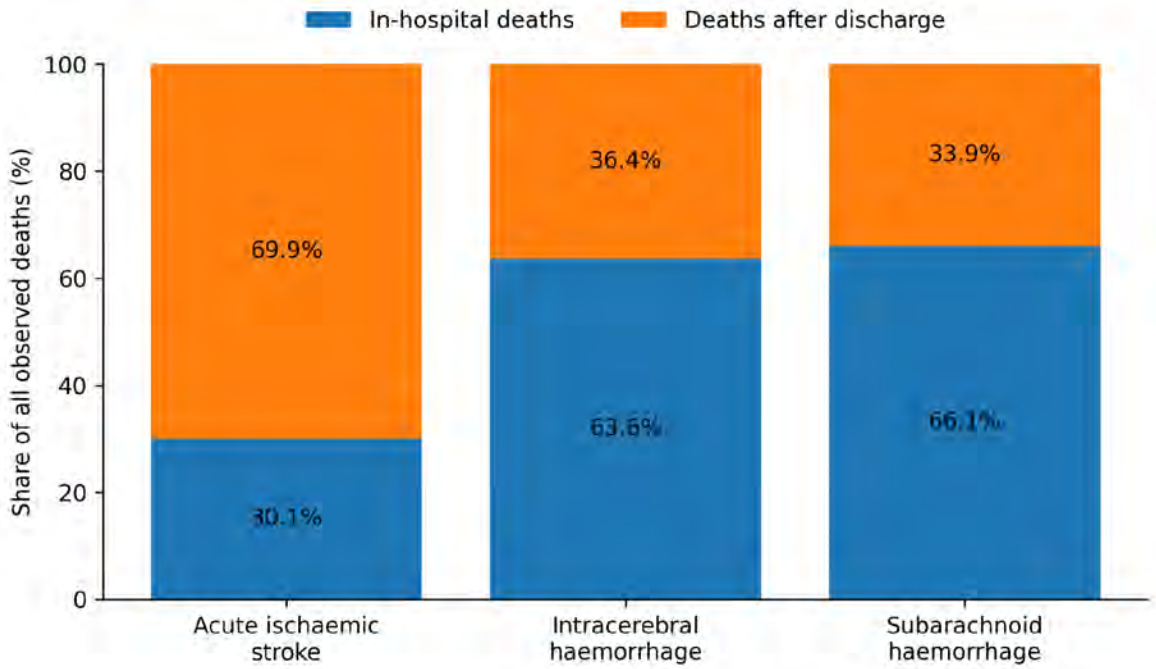


Figure 1. Timing of observed deaths by stroke subtype in the Kazakhstan national registry cohort, 2014–2019. Source data: [4]; calculations and figure by the author.

The mortality rate in registered stroke patients rose by 80.9% from 398 to 720 per million population, between 2014 and 2019. Although there were temporary drops in 2017 and 2018, the rate of in-hospital mortality rose from 240 to 271 per million people or 12.9% [4]. The difference between these indicators grew from 158 to 449 per million marking an increase of 184.2%. This is not a formal incidence rate of post-discharge mortality, but is consistent with greater increases over the index hospitalization.

Support for two-phase burden through subtype survival estimates. Reported 30-day survival was 87.3% for AIS, 71.5% for ICH and 73.4% for SAH [4], corresponding to mortality of 12.7%, 28.5% and 26.6%. Early mortality was 2.24 times as high after ICH and 2.09 times as high after SAH, compared with AIS (15.8 and 13.9 percentage points higher respectively). At five years, mortality was 35.3% for AIS, 42.7% for ICH and 36.9% for SAH. The gap between ICH – AIS decreased to 7.4 percentage points and SAH came close to the AIS estimate.

Results of risk factors will help target actions for follow-up; however, be cautious when interpreting the results. Diabetes increased adjusted mortality in AIS (hazard ratio 1.34, 95% CI 1.30–1.37) and ICH (1.26, 95% CI 1.18–1.35) [4]. The adjusted mortality among the patients older than 70 years was significantly higher for all the subtypes. The original registry found the opposite, coded hypertension was associated with decreased mortality, but this was due to the fact that there was no data available on treatment status, blood-pressure control, and medication adherence and no coding completeness, so the finding is not interpreted as protective. In 2026, a nationally-representative WHO STEPS analysis reported hypertension among adults 18–69 years of age was 16.0%, which increased to 46.7% by age 65 years or older and varied significantly across regions [5]. Both sources stress the importance of systematic blood-pressure detection and control, with different definitions and populations.

Discussion and practical implications

High stroke mortality is not an isolated observation, but rather, it is observed that it occurs at different times depending on the stroke subtype. ICH and SAH focuss mortality in hospital, and further investment is warranted in the facilities and services of rapid neuroimaging, stroke-unit care, blood-pressure management, neurosurgical pathways, endovascular pathways and interregional transfer. The absolute number of deaths is highest in AIS, and in this dataset, the majority of deaths took place following discharge. This latter pattern is consistent with the fact that the AIS group is older, has a longer interval from the acute event, recurrent vascular risk, disability, complications and competing causes of death. It is not intended to imply that the post-discharge care was insufficient or that the deaths were preventable.

However, the results show that there is a measurable service gap, namely that successful discharge is not the end goal. According to WHO's 2024 framework, stroke care is a continuum from prehospital response to community recognition, acute response, and rehabilitation and ongoing management [6]. The World Stroke Organization – Lancet Neurology Commission also considers surveillance, prevention, acute care and rehabilitation as four interconnected pillars [7]. In secondary prevention, current guidelines call for etiological evaluation, blood pressure and lipid management, antiplatelet therapy/anticoagulation if appropriate, diabetes management, smoking cessation, and physical activity and adherence monitoring follow-up [8]. WHO recommendations include access to motor, communication, cognitive and psychosocial rehabilitation, alongside early multidisciplinary assessment [9].

High-quality acute care is also possible in Kazakhstan as evidenced. During a 12-month programme, 23.8% of hospitalized ischaemic-stroke patients were treated with thrombolysis, 100 mechanical thrombectomies and 6.7% mortality was reported by a tertiary centre in Karaganda in 2025 [10]. These are single centre results and do not necessarily reflect the national picture, but illustrate the importance of structured pathways. The next system-level step is to link such acute capacity with standard discharge and community follow up.

A practical national model would incorporate a minimum dataset for discharges, documentation of stroke aetiology, medication reconciliation, individual blood pressure plan, evaluation for atrial fibrillation, diabetes and dyslipidaemia, rehabilitation referral, education for family/caregiver, and review in a month. National indicators should include measures of 30 day and 1 year survival as well as recurrent stroke and functional status using the modified Rankin scale, rehab access and medication persistence. Shared follow-up between stroke centres and primary care and teleconsultation may be particularly relevant to the regional differences and problems with access identified in the registry study.

Limitations

This analysis was conducted on the aggregated data and not on the level of the patients. Post-discharge deaths were calculated by subtraction and not necessarily stroke-specific, and the duration of follow-up varied by year of admission to hospital, with deaths before hospital admission not recorded. Several lifestyle variables and

stroke severity were not recorded in the registry, nor was functional status or the use of medications at the time of stroke or exposure to rehabilitation. Estimates and registry measurements were not statistically pooled, as they define the same thing in different ways in the context of WHO. The ratios derived are descriptive of the observed cohort and should not be regarded as causal.

Conclusions

The analysis of data from the National Register shows two complementary priorities in stroke care in Kazakhstan. Haemorrhagic strokes demand maximum acute phase capabilities as most deaths occur during the hospital phase and AIS demands maximum secondary prevention and rehabilitation as around seven out of every 10 observed AIS deaths have occurred post-discharge. Of all subtypes, 61.1% of deaths were out of hospital. A national stroke strategy should then consider outcomes throughout the whole stroke pathway, from the acute stroke centre to structured discharge, primary care, rehab and long-term monitoring.

References

1. World Health Organization. (2025, December 19). Stroke. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/stroke
2. GBD 2021 Stroke Risk Factor Collaborators. (2024). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. The Lancet Neurology, 23(10), 973–1003. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(24)00369-7
3. World Health Organization. (n.d.). Kazakhstan: Leading causes of death and health statistics. WHO Data. https://data.who.int/countries/398 .
4. Zhakhina, G., Zhalmagambetov, B., Gusmanov, A., Sakko, Y., Yerdessov, S., Matmusaeva, E., Imanova, A., Crape, B., Sarria-Santamera, A., & Gaipov, A. (2022). Incidence and mortality rates of strokes in Kazakhstan in 2014–2019. Scientific Reports, 12, 16041. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20302-8
5. Zhukov, Y., Nikatov, K., Dyussembekov, E., Kastey, R., Yerniyazov, N., Korabayev, M., Menlayakova, D., Muminov, T., Tanabayeva, S., Fakhradiyev, I., & Shoranov, M. (2026). Socio-demographic, behavioral, and biological risk factors of hypertension in Kazakhstan: Results of a national study. Population Health Metrics, 24, 10. https://doi.org/10.1186/s12963-026-00454-9
6. World Health Organization. (2024). Framework for the care of acute coronary syndrome and stroke. World Health Organization. ISBN 978-92-4-010366-5. https://www.who.int/publications/i/item/9789240103665
7. Feigin, V. L., Owolabi, M. O., & World Stroke Organization–Lancet Neurology Commission Stroke Collaboration Group. (2023). Pragmatic solutions to reduce the global burden of stroke: A World Stroke Organization–Lancet Neurology Commission. The Lancet Neurology, 22(12), 1160–1206. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(23)00277-6
8. Kleindorfer, D. O., Towfighi, A., Chaturvedi, S., Cockroft, K. M., Gutierrez, J., Lombardi-Hill, D., Kamel, H., Kernan, W. N., Kittner, S. J., Leira, E. C., Lennon, O.,

Meschia, J. F., Nguyen, T. N., Pollak, P. M., Santangeli, P., Sharrief, A. Z., Smith, S. C., Jr., Turan, T. N., & Williams, L. S. (2021). 2021 guideline for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: A guideline from the American Heart Association/American Stroke Association. Stroke, 52(7), e364–e467. https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000375

9. World Health Organization. (2023). Package of interventions for rehabilitation: Module 3: Neurological conditions. World Health Organization. ISBN 978-92-4-007113-1. https://www.who.int/publications/i/item/9789240071131

10. Grigolashvili, M., Klyuyev, D., Kasatkin, D., Battakova, S., Shayakhmetova, Y., Beisembayeva, M., Muratbekova, S., Koshelyuk, A., Baituyak, Y., Turkevich, I., & Dey, A. (2025). Evaluation of stroke care delivery: 12-month experience of a tertiary stroke center in Central Asia. International Journal of Clinical Practice, 2025, 8109173. https://doi.org/10.1155/ijcp/8109173

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.015.212-218

THE LATE-DIAGNOSIS GAP BEFORE KIDNEY REPLACEMENT THERAPY IN KAZAKHSTAN: A SECONDARY QUANTITATIVE ANALYSIS OF NATIONAL REGISTRY DATA

Marat Yelena Maratqyzy
General practitioner (GP)
State Enterprise on REM "Baiterek District Hospital"
Peremetnoye village, Bayterek District, West Kazakhstan Region
Nabi Nurila Nurdauletkyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Omir Gulzhamal Bauyrzhankyzy
7th year intern
Department of General Medicine
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Bauyrzhankyzy Akbilek
7th year intern
Astana medical university, Astana, Kazakhstan

Abstract

Chronic kidney disease (CKD) is not recognized until it is too late for preparation for kidney replacement therapy (KRT). Using published nationwide registry data and available literature, this secondary analysis aimed to quantify the late-diagnosis gap in

Kazakhstan, and to compare results with international evidence and KDIGO 2024 guidelines. Of 9,097 patients who started KRT, 74% were diagnosed within six months prior to their therapy. There was an 11 percentage-point increase in crude proportion of deaths, and a decrease in transplantation, with a 1.18 increase in adjusted mortality hazard, for late diagnosis. The results were useful for proposing risk-based referral, laboratory follow-up and measurement of the effectiveness of the screening process for CKD in Kazakhstan.

Keywords: chronic kidney disease; kidney replacement therapy; late diagnosis; Kazakhstan; mortality; transplantation; nephrology referral

INTRODUCTION

Chronic kidney disease (CKD) is a significant non-communicable disease and a significant cause of cardiovascular morbidity, premature mortality and the need for dialysis or transplantation. Global burden of disease 2017 estimated global cases of CKD to be 697.5 million and indicated that impaired kidney function also significantly contributes to cardiovascular deaths and disability [1]. The time from first detection to kidney replacement therapy (KRT) provides a clue as to how much time a health system has to help slow disease progression, manage complications, educate patients, develop a permanent vascular access, and consider transplantation.

The country of Kazakhstan has valuable electronic health data across the nation that can be used to investigate this issue. The prevalence of CKD among administrative records rose from 10,346 to 38,287 per million between 2014 and 2020; while the number of incident cases recorded fell from 6,365 to 4,040 per million and the number of deaths reported from all causes per million rose from 279 to 916 [2]. The prevalence increased 270.1% due to these changes, the incidence decreased 36.5% and the mortality increased 228.3%. The pattern does not necessarily mean incidence; it may be indicative of case accumulation, changing detection, survival, coding, and/or actual disease burden.

The number of people with kidney failure also increased after treatment. The prevalence of dialysis rose by 159.0% from 135.2 per million population in 2014 to 350.2 per million in 2018, and the incidence rose by 37.7% from 68.9 to 94.9 per million population [3]. Taking this into account, it is important that CKD is recognized before the onset of KRT. The Kazakhstan national study from 2024 is sufficient source of data to perform focused secondary analysis [4].

RESEARCH QUESTION AND OBJECTIVE

The research question was to estimate the size of late diagnosis gap among patients diagnosed in Kazakhstan in 2014–2019 who started KRT, and to compare its association with death and transplantation with the same patients diagnosed at least six months prior to KRT.

The goal was to estimate the size of the gap in terms of reproducible secondary indicators, evaluate direction and size of the gap against international data on nephrology referral and provide practical implications for CKD detection and referral in Kazakhstan. The study was not a meta-analysis but rather a secondary quantitative analysis due to the fact that in Kazakhstan there was only one national cohort of

evidence, and international studies were based on different definitions of “late” referral, different case mixes and different outcome models.

DATA SOURCES AND ANALYTICAL APPROACH

Primary data was the published analysis of Unified National Electronic Health System (UNEHS) linked outpatient, inpatient and records from the CKD registry in Kazakhstan. It found that there were 211,655 people living with CKD and 9,097 who started dialysis or had a kidney transplant between 1 January 2014 and 6 April 2019 [4]. For this analysis “late diagnosis” was defined according to the table and results definition of the study, which was defined as the first recorded CKD diagnosis within 6 months prior to KRT. “Earlier diagnosis” was defined as at least six months prior to KRT.

The variables extracted included the group size, median time from diagnosis to KRT, the crude proportion of death and the proportion of transplantation and the adjusted hazard ratio for death. These were calculated as: late-to-earlier diagnosis ratio, absolute percentage-point difference, crude risk ratio for death, relative transplantation deficit, and ratio of median diagnosis-to-KRT intervals. The published aggregate has been used in all calculations and these have been checked. Confidence intervals were not calculated for the percentages that were rounded from the source data, as the source used exact numbers for adjusted estimates and rounded several descriptive percentages.

For external interpretation, the Kazakhstan estimates were compared with the updated existing 2025 meta-analysis of 72 studies with over 630,000 patients and a systematic review of 27 longitudinal cohorts from 2011 [5,6]. The clinical implications were evaluated based on the KDIGO 2024 CKD guideline [7]. The current context of surveillance and implementation was assessed based on a recent Kazakhstan regional study and the national rural screening regulation [8,9]. This final search was performed on 19 July 2026. There was no additional ethics approval needed, as no new patient level data was accessed.

RESULTS

Of the 9097 patients that started KRT, 6699 (74%) were in the late diagnosis group and 2398 (26%) were in the early diagnosis group [4]. So, it was 2.85 times more likely to be diagnosed late than earlier. The median interval between first CKD and KRT was just 3 days in the late group compared with 488 days in the early group. The first group thus had a median preparation interval of 162.7 times as long as the second group. This gap is more than just statistical; it is long enough to warrant a change in nephroprotective management, shared decision-making, planned dialysis access, or planned transplant evaluation.

The proportions of crude deaths were 34% in the case of “late diagnosis” and 23% in the case of “earlier diagnosis” [4]. The absolute difference calculated was 11 percentage points and the crude risk ratio was 1.48, which meant that the crude death proportion in the late group was 47.8% higher. Late diagnosis was associated with greater mortality after adjustment in the original Cox model (HR 1.18, 95% CI 1.07-1.30; $p<0.001$) [4]. This association should not be interpreted as a causal association,

as the analysis was observational. Still, persistence following adjustment lends weight to the notion of timing as a valid indicator of care vulnerability.

The percentage of those who had kidney transplantation was 11.4% of the late group and 14.0% of the earlier group [4]. The absolute deficit was 2.6 percentage points, which corresponds to a relative deficit of 18.6% in the late group. The direction is in keeping with the benefit of having more time to evaluate, assess the donors, perform infection and cardiovascular work up and then refer to a transplant program.

Table 1. Quantitative profile of late versus earlier CKD diagnosis before KRT in Kazakhstan

Indicator	Late diagnosis (<6 months)	Earlier diagnosis (≥6 months)	Derived comparison
Share of KRT cohort	74.0% (n=6,699)	26.0% (n=2,398)	Late-to-earlier ratio: 2.85
Median diagnosis-to-KRT interval	3 days	488 days	Earlier group had 162.7-fold longer lead time
Crude death proportion	34%	23%	+11 percentage points; crude RR 1.48
Adjusted mortality hazard	HR 1.18 (95% CI 1.07–1.30)	Reference	Original multivariable Cox model; p<0.001
Kidney transplantation	11.4%	14.0%	−2.6 percentage points; 18.6% relative deficit

Note. Values are derived from the published nationwide registry study [4]. Percentages are reported as published; RR, risk ratio; HR, hazard ratio; CI, confidence interval.

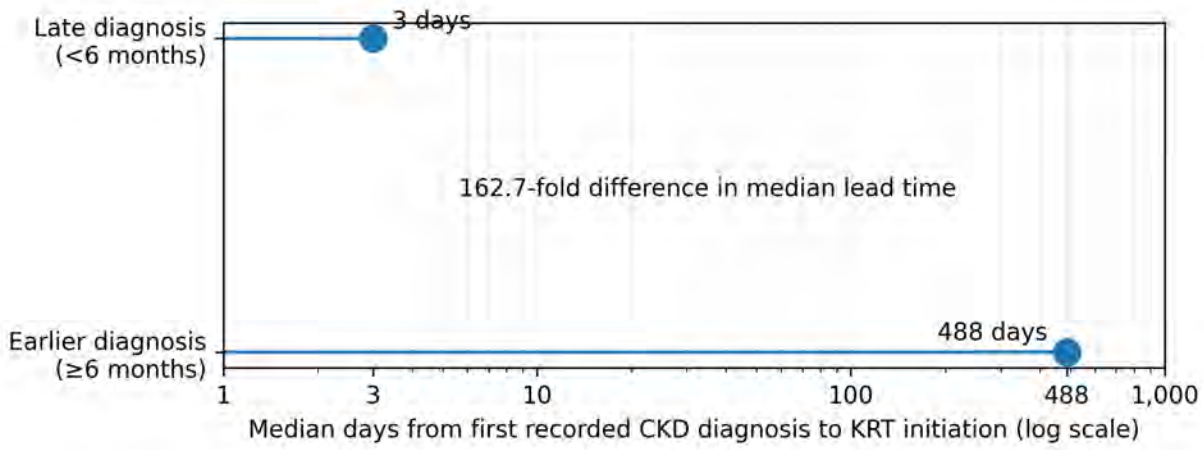


Figure 1. Median time from first recorded CKD diagnosis to KRT initiation. The logarithmic scale displays the 3-day median in the late-diagnosis group and the 488-day median in the earlier-diagnosis group; data from [4].

INTERNATIONAL BENCHMARK

This proportion was also higher than the late-diagnosis proportion of Kazakhstan, which was higher than the level of international history. In the 2011 systematic review, 5,912 of 17,646 patients (33%) were referred late [5]. The share of Kazakhstan was 41 percentage points higher and 2.24 times greater than that benchmark. This is an indirect comparison, as the time was calculated in the review from the nephrology referral to dialysis, while Kazakhstan calculated the time from the first record of a diagnosis to KRT. It should be interpreted accordingly as a signal and not a country ranking.

The new 2025 meta-analysis identified improvements in all-cause mortality (HR 0.67, 95% CI 0.62–0.72), increased transplantation (RR 1.41) and decreased number of emergency dialysis starts (RR 0.39) along with increased creation and use of permanent access (RR 1.32) with earlier nephrology referral [6]. The Kazakhstan results are similar as far as direction is concerned: there was a correlation between increased diagnostic lead time and improved survival and increased transplantation. These differences in the adjusted effects size in Kazakhstan could be attributed to variations in definitions, residual confounding, differences in registry coding, treatment pathways, and the fact that the date of diagnosis is not necessarily the date seen by the specialist.

DISCUSSION AND PRACTICAL IMPLICATIONS

The main result was a shortened pre-KRT pathway, with nearly 75 percent of patients having a first diagnosis of CKD recorded within six months of KRT, and an average time of three days in this group. This indicates that much of the information was provided during end-stage presentation or an admission in the final stages to dialysis. Failure cannot be identified between the screening, lab interpretation, repeat testing, coding, referral, attendance, or disease progression stages by using administrative information. The policy response should therefore need to quantify all the steps in the ‘detection to care’ cascade.

In CKD G3-G5, KDIGO 2024 suggests the use of an externally validated kidney-failure risk equation. Nephrology referral is appropriate for a 5-year kidney failure risk of 3-5%, multidisciplinary care is indicated with a 5-year kidney failure risk of 10% or higher, and modality education, access planning and referral for transplant should be considered when the 5-year kidney failure risk is >40% [7]. The thresholds are based on absolute risk vs. one or more estimated GFRs (eGFRs).

Kazakhstan has introduced a CKD screening program for adults in rural areas, aged 18–70 years, which involves urinalysis and a serum creatinine test, performed annually [9]. Evaluation of the program should be based on more than the number screened. Some examples of auditable indicators are: automatic eGFR reporting, confirmation of chronicity, quantitative albuminuria testing when appropriate, kidney-failure risk calculation, time from abnormal result to repeat testing, time to nephrology consultation and percentage of patients reaching KRT with a documented modality plan. These would tell where the potential planning window is slipping away.

In a study from selected provinces in Kazakhstan conducted in 2026, it was paradoxically discovered that administrative CKD incidence was lower than

hemodialysis incidence, and that eGFR, CKD stage and albuminuria data were missing [8]. While it was not nationally representative and had a small sample of health-literacy, it does support the importance of standardizing the variables in the registry. Combination of laboratory results, CKD stage, albumin-creatinine ratio, referral dates, vascular-access status and transplantevaluation would allow for more robust quality-of-care analyses than would diagnosis codes alone.

The clinical message here is that nephrology outcomes are set prior to dialysis. Detection is only useful if abnormal findings result in risk stratification, treatment, education, and planned transition. The analysis supports a national quality indicator as a proportion of incident KRT cases who have 6 months of documented CKD care, with additional indicators based on risk level that are less reliant on an arbitrary time limit.

LIMITATIONS

In this study, published aggregate data was used and could not be reanalysed, confounding factors adjusted for, and coding verified. The primary source was missing laboratory data, as well as eGFR, albuminuria, stage of CKD, socioeconomic data, detailed dialysis-access data, and precise dates of referral [4]. True "rapid progression" or acute-on-chronic kidney injury, delayed coding, previously unrecorded care, migration between systems are all examples of possible "late diagnosis. There was a significant difference between the early and late groups in terms of the comorbidities that were present, and there is still likely some residual confounding even after accounting for the survival model. There was no direct international comparison as the definitions of referral varied. Lastly, the source is somewhat inconsistent (or inconsistent within itself) in the way it describes the groups, meaning that this analysis was based on the size of the groups in the table and on the percentages that were rounded and not on the numbers of events or confidence intervals as they contradicted each other in the text.

CONCLUSIONS

One of the significant measurable gaps in Kazakhstan is the late detection of CKD prior to KRT. The median was 3 days and 74 percent of incident KRT patients were diagnosed less than six months prior to receiving treatment. Late diagnosis was linked to a 11 percentage point increase in crude proportion of deaths, 1.18 fold increase in adjusted mortality hazard and 18.6% relative transplantation deficit. The most defensible answer is a standardized, monitored detection-to-referral pathway: a standardized, documented eGFR and albuminuria recording, a calculation of the kidney failure risk, timely nephrology review, and a documented KRT and kidney transplant plan. Future national studies should correlate laboratory, referral and access and transplantation data to separate delayed detection from delayed care.

References

1. GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. (2020). Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The Lancet, 395(10225), 709–733. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30045-3

2. Zhakhina, G., Mussina, K., Yerdessov, S., Gusmanov, A., Sakko, Y., Kim, V., Syssoyev, D., Madikenova, M., Assan, A., Kuanshaliyeva, Z., Turebekov, D., Yergaliyev, K., Bekishev, B., & Gaipov, A. (2024). Analysis of chronic kidney disease epidemiology in Kazakhstan using nationwide data for 2014–2020 and forecasting future trends of prevalence and mortality for 2030. Renal Failure, 46(1), 2326312. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2326312

3. Gaipov, A., Issanov, A., Kadyrzhanuly, K., Galiyeva, D., Khvan, M., Aljofan, M., Molnar, M. Z., & Kovesdy, C. P. (2020). Epidemiology of dialysis-treated end-stage renal disease patients in Kazakhstan: Data from nationwide large-scale registry 2014–2018. BMC Nephrology, 21(1), 407. DOI: 10.1186/s12882-020-02047-6

4. Kim, V., Zhakhina, G., Gusmanov, A., Sakko, Y., Kim, M., Madikenova, M., Kuanshaliyeva, Z., Issanov, A., Assan, A., Khvan, M., Nabiyev, A., Altynova, S., & Gaipov, A. (2024). Late diagnosis of CKD and associated survival after initiation of renal replacement therapy in Kazakhstan: Analysis of nationwide electronic healthcare registry 2014–2019. Renal Failure, 46(2), 2398182. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2398182

5. Smart, N. A., & Titus, T. T. (2011). Outcomes of early versus late nephrology referral in chronic kidney disease: A systematic review. The American Journal of Medicine, 124(11), 1073–1080.e2. DOI: 10.1016/j.amjmed.2011.04.026

6. Cheng, L., Hu, N., Song, D., Liu, L., & Chen, Y. (2025). Early versus late nephrology referral and patient outcomes in chronic kidney disease: An updated systematic review and meta-analysis. BMC Nephrology, 26(1), 25. DOI: 10.1186/s12882-025-03944-4

7. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD Work Group. (2024). KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. Kidney International, 105(4S), S117–S314. DOI: 10.1016/j.kint.2023.10.018

8. Burkutov, Y., Zikiriya, Y., Zhandossov, O., & Makhanbetkulova, D. (2026). Understanding the problem of chronic kidney disease in the Republic of Kazakhstan: The study on prevalence and patients' health behaviors. Frontiers in Epidemiology, 6, 1685648. DOI: 10.3389/fepid.2026.1685648

9. Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. (2022, July 5). Order No. ҚР ДСМ-65: On amendments to Order No. ҚР ДСМ-174/2020 approving target groups subject to screening examinations and the rules, scope and periodicity of screening examinations. Adilet Legal Information System. Accessed July 19, 2026. Official URL: Adilet V2200028747

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.016.219-224

ASSESSMENT OF RISK FACTORS FOR DIABETIC RETINOPATHY IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS

Maden Mamyk
7th Year internship student
Department of General Medicine
Astana Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Daribaikyzy Zansaya
7th Year internship student
Department of General Medicine
Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov,
Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract

Introduction. Diabetes mellitus is one of the most widespread socially significant chronic non-infectious diseases in the world today. According to the International Diabetes Federation (IDF, 2025), 589 million people in the world population aged 20–79 live with diabetes mellitus, of which more than 95% are attributable to type 2 diabetes mellitus.

Diabetes mellitus leads to damage to many systems and organs, including diabetic retinopathy, which is the main complication among the most common microvascular complications of diabetes mellitus. International studies have shown that approximately 35% of people with diabetes mellitus are diagnosed with diabetic retinopathy, of which 10% have vision-threatening forms.

This situation is also escalating in Kazakhstan; according to IDF data, more than 842 thousand people live with diabetes mellitus in Kazakhstan. Due to the increasing prevalence of the disease, early diagnosis of diabetic retinopathy, early identification of major risk factors, and improvement of preventive measures are among the main ophthalmological issues in our country.

Aim. To identify and statistically evaluate the main risk factors provoking diabetic retinopathy among patients with type 2 diabetes mellitus, as well as to clinically determine the degree of their influence on the development and progression of this complication, to consider ways to optimize algorithms for early diagnosis of retinopathy and to develop effective prevention strategies.

Objectives. To determine the prevalence of diabetic retinopathy among 208 selected patients with type 2 diabetes mellitus through retrospective cohorting.

To identify independent risk factors for diabetic retinopathy, including HbA1c level, duration of diabetes, arterial hypertension and lipid profile, using multifactorial logistic regression analysis.

To quantitatively and qualitatively assess the strength of the association between each modifiable risk factor and the presence of diabetic retinopathy.

Materials and Methods. The research work used a retrospective study design based on data obtained from the patient database of Polyclinic № 14 in Astana city and Polyclinic № 27 in Almaty city, Republic of Kazakhstan.

The study included data from the medical records and outpatient cards of 208 patients with type 2 diabetes mellitus who were treated and under outpatient follow-up in the endocrinology and ophthalmology departments of Polyclinic No. 14 in Astana city and Polyclinic No. 27 in Almaty city during the period 2020-2025. Inclusion criteria for patient selection were a confirmed diagnosis of T2DM, patients aged 18 years and older. Exclusion criteria from the study were patients with type 1 diabetes mellitus, gestational diabetes, malignant neoplasms, severe mental disorders, and insufficient information.

When collecting primary data, the study recorded patients' demographic indicators, including age, sex, disease duration, laboratory data including HbA1c, blood glucose, lipid spectrum, creatinine, concomitant diseases including arterial hypertension, dyslipidemia, nephropathy, and ophthalmological examination results including fundus photography and fluorescein angiography. Only cases where the diagnosis of diabetic retinopathy was confirmed by standard ophthalmological methods were considered.

For statistical analysis of all collected data SPSS,Statistical Package for the Social Sciences version 26.0 was used. To assess the association between variables, the χ^2 test, Student's t-test, and Mann-Whitney U test were used. To identify independent factors influencing the development of diabetic retinopathy, a multifactorial logistic regression model, namely the Stepwise method, was used. Results were considered statistically significant at a 95% confidence interval, CI, and significance level $p<0.05$.

Results. The average age of the 208 patients who participated in the research work was 59.2 ± 10.1 years, which is the standard deviation. Of these, 58.2%, i.e. n=121 were women, and 41.8%, i.e. n=87 were men. The general characteristics of the patients are shown in Table 1.

Table 1 – Main clinical characteristics of the study participants

Characteristic	Value, n=208
Mean age (years)	59.2 ± 10.1
Sex female/male, n (%)	121 (58.2) / 87 (41.8)
Diabetes duration (years), median [IQR]	10.0 [6.0 – 17.0]
HbA1c (%), median [IQR]	8.4 [7.2 – 9.8]
Arterial hypertension, n (%)	142 (68.3)
Dyslipidemia, n (%)	98 (47.1)
Diabetic nephropathy, n (%)	56 (26.9)

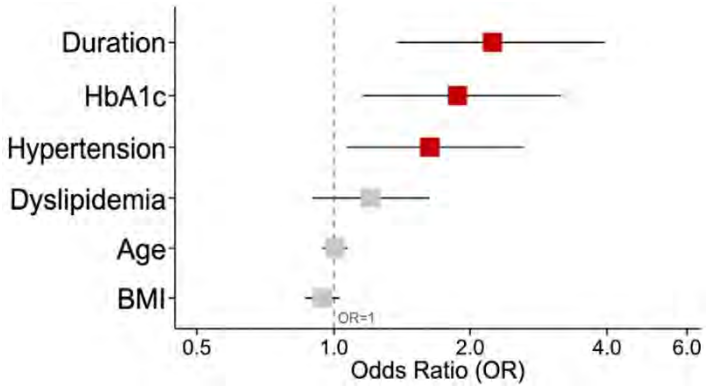


Figure 1. Forest plot of multivariate logistic regression analysis for risk factors of diabetic retinopathy.

Among the study participants, diabetic retinopathy was detected in 88 patients, i.e. 42.3%. The comparative analysis between the group with diabetic retinopathy (DR) and the group without diabetic retinopathy (NDR) is presented in Table 2.

Table 2 – Comparison of clinical parameters between DR and NDR groups

Parameter	DR group, n=88	NDR group, n=120	p-value
Age (years)	60.5 ± 9.8	58.2 ± 10.3	0.108
Diabetes duration (years)	15.0 [10.0 – 22.0]	7.0 [4.0 – 12.0]	<0.001
HbA1c (%)	9.1 [7.9 – 10.5]	7.8 [7.0 – 8.9]	<0.001
AH present, n (%)	70 (79.5)	72 (60.0)	0.003
Dyslipidemia, n (%)	52 (59.1)	46 (38.3)	0.003
BMI (kg/m²)	30.5 [27.0 – 34.2]	29.8 [26.5 – 33.0]	0.231

Note: IQR – interquartile range; BMI – body mass index

The results of the multifactorial logistic regression analysis conducted to identify factors influencing the development of diabetic retinopathy are shown in Table 3. Variables such as age, sex, diabetes duration, HbA1c, AH, dyslipidemia, nephropathy and BMI were included in the model.

Table 3 – Multifactorial regression analysis of factors associated with DR development

Factor	OR (95% CI)	p-value
Diabetes duration (per year)	1.14 (1.06 – 1.22)	<0.001
HbA1c (per 1%)	1.45 (1.18 – 1.78)	<0.001
Arterial hypertension	2.81 (1.35 – 5.85)	0.006
Dyslipidemia	2.10 (1.09 – 4.05)	0.027
Age (per year)	1.02 (0.98 – 1.07)	0.312
Body mass index	0.98 (0.91 – 1.06)	0.601

OR – odds ratio; CI – confidence interval.

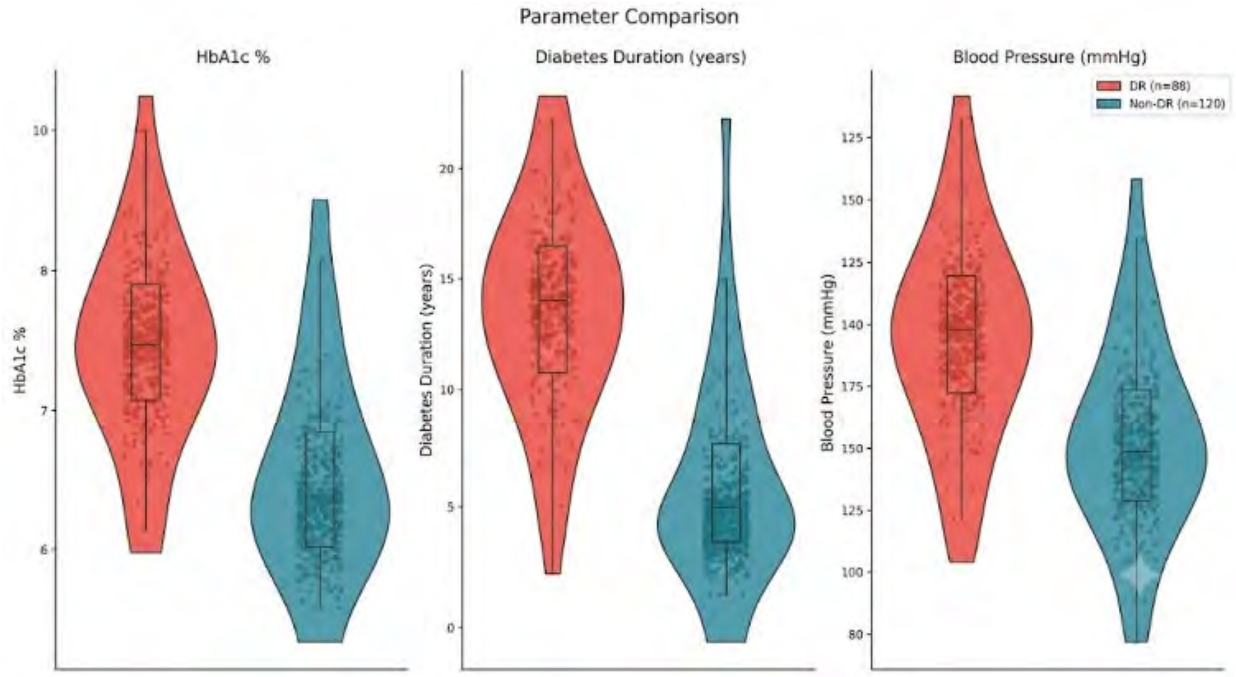


Figure 2. Violin-box plots comparing clinical parameters between DR and Non-DR groups.

In this retrospective study, we identified the main risk factors for the development of diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus, and our results are consistent with the majority of international studies.

As a result of our study, the strongest risk factor was diabetes duration,OR=1.14, p<0.001. This indicator highlights the role of long-term hyperglycemia in the pathogenesis of diabetic retinopathy. The higher frequency of diabetic retinopathy in patients with a long history of diabetes, median 15 years vs 7 years, confirms this conclusion.

The level of glycemic control (HbA1c) also showed a strong association with the development of diabetic retinopathy, i.e. OR=1.45, p<0.001. This is consistent with data from studies showing, for example, that when HbA1c > 10%, the risk of diabetic retinopathy increases more than 4-fold. This indicates the importance of strict glycemic control for the prevention of diabetic retinopathy.

Among concomitant diseases, arterial hypertension, OR=2.81 and dyslipidemia, OR=2.10 were identified as statistically significant risk factors. This shows that not only glycemia, but also hemodynamic and metabolic factors are important in the pathogenesis of diabetic retinopathy. The frequency of AH was significantly higher in the DR group, i.e. 79.5% vs 60.0%. Although the age factor was not statistically significant in our study, p=0.312, some studies have shown that early onset of diabetes increases the risk of DR. Body mass index was also not a significant factor, which is consistent with the contradictions in the literature regarding the role of obesity in the pathogenesis of diabetic retinopathy.

Conclusion. Summarizing the results of the conducted study, it confirms that factors such as long diabetes history, high HbA1c level, arterial hypertension and dyslipidemia have an independent effect on the development of diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus. The obtained results are important for improving

screening and prevention strategies for diabetic retinopathy. To reduce the risk of developing diabetic retinopathy, it is recommended that patients strengthen glycemic control, regularly monitor blood pressure and lipid spectrum, as well as undergo systematic ophthalmological examinations. In the future, conducting prospective cohort studies and studying the role of genetic markers will allow the development of a personalized prediction system for diabetic retinopathy.

Keywords: type 2 diabetes mellitus, diabetic retinopathy, risk factors, HbA1c, retrospective study.

References

1. Alshahrani, A.M., Alshahrani, A.M., Al-Boqami, B.A.H., Alqahtani, A.A., Alzahrani, B., Bassi, Y., Almohaimeed, M.Y. and ... (2024) 'Prevalence and predictors of diabetic retinopathy in Saudi Arabia: insights from a systematic review and meta-analysis', Biomolecules, 14(12), p. 1486. doi:10.3390/biom14121486.
2. Bayydih, M., Darraj, H., Badedi, M., Hummadi, A., Mahfouz, M.S., Abuallut, I., Alhagawy, A.J., Wasili, F.M.J., Abdaly, A.Y., Omrain, M.O.A. and Hakami, A.A.A. (2025) 'Diabetic retinopathy and dyslipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus in the Jazan endocrine and diabetes center: a case-control study', Journal of Family Medicine and Primary Care, 14(6), pp. 2148-2152. doi:10.4103/jfmpc.jfmpc_740_24.
3. Niu, D., Kang, Z., Sun, J., Zhang, L., Wang, C., Lei, T., Liu, H. and Zhang, Y. (2025) 'Universal nomogram for predicting referable diabetic retinopathy: a validated model for community and ophthalmic outpatient populations using easily accessible indicators', Frontiers in Endocrinology, 16, p. 1557166. doi:10.3389/fendo.2025.1557166.
4. (2025) 'Insights into the systemic risk factors associated with diabetic retinopathy in the Indian population: a comprehensive systematic review and meta-analysis', Indian Journal of Ophthalmology, 73(Suppl 1), pp. S24-S30. doi:10.4103/IJO.IJO_818_24.
5. (2026) 'Risk factors for diabetic retinopathy progression in type 2 diabetes: a systematic review', Diabetes Research and Clinical Practice, 212, p. 111723. doi:10.1016/j.diabres.2026.111723.
6. (2025) 'Glycemic control and diabetic retinopathy: a 5-year cohort study', Journal of Diabetes and its Complications, 39(4), pp. 108956-108963. doi:10.1016/j.jdiacomp.2025.108956.
7. (2024) 'Hypertension as a modifiable risk factor for diabetic retinopathy: an updated meta-analysis', Journal of Clinical Hypertension, 26(8), pp. 901-910. doi:10.1111/jch.14982.
8. (2025) 'Lipid profile abnormalities and diabetic retinopathy severity: a cross-sectional study', Lipids in Health and Disease, 24(1), p. 45. doi:10.1186/s12944-025-02241-9.
9. (2026) 'Duration of diabetes as a predictor of retinopathy: a retrospective analysis of 1,500 patients', Acta Ophthalmologica, 104(2), pp. 189-196. doi:10.1111/aos.16895.

10. (2024) 'Screening strategies for diabetic retinopathy in low-resource settings: a review', International Journal of Ophthalmology, 17(12), pp. 2301-2310. doi:10.18240/ijo.2024.12.22.
11. (2025) 'Novel biomarkers for early detection of diabetic retinopathy: a systematic review', Journal of Translational Medicine, 23(1), p. 310. doi:10.1186/s12967-025-06232-1.
12. (2026) 'The role of nephropathy in diabetic retinopathy risk assessment: a longitudinal study', Nephrology Dialysis Transplantation, 41(3), pp. 455-463. doi:10.1093/ndt/gfae212.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.017.224-229

LATE DETECTION OF DIABETIC RETINOPATHY IN TYPE 2 DIABETES IN KAZAKHSTAN: EVIDENCE GAPS AND SCREENING PRIORITIES

Laushanova Mira Galymovna
General practitioner (GP)
Department of General Medicine
Kazakh Medical University
Almaty, Kazakhstan

Abstract

Diabetic retinopathy is one of the growing public health problem in Kazakhstan, but there are no national data to determine the frequency of DR detection at a late stage. This study analysed the current evidence for late detection measures and resulted in priorities for retinal screening. Four of the studies were verified and included in a structured secondary analysis of studies directly addressing DR in T2DM and one qualitative study related to general ophthalmological access in Kazakhstan. The increasing burden of diabetes was reported by administrative sources, while clinical studies reported a small proportion of registered patients with retinopathy but had insufficient numbers of patients to estimate the prevalence of the condition in the population or the proportion of patients presenting late. There was no consistency in some of the other measurements, such as retinal stage at first examination, visual acuity, macular-oedema status, previous screening history, and time from diagnosis to retinal assessment. Access barriers to general eye care were reported, but not specific to DR. National-level estimates of late-detection rates or independent predictors require linked diabetes-ophthalmology records and standardized data for the first examination.

Keywords: Type 2 diabetes mellitus; diabetic retinopathy; late detection; retinal screening; Kazakhstan.

Introduction

Kazakhstan is facing a major public health problem of type 2 diabetes mellitus (T2DM). A review of the Unified National Electronic Health System (UNEHS) revealed that there are 443,776 individuals with a diagnosis of T2DM registered between 2014 and 2019. During this time, the prevalence of both forms of major diabetes rose by ~1.7-fold. Of all the registered patients with T2DM, 15,797 (3.6%) had been diagnosed with diabetic retinopathy (DR) [1]. This is a diagnosis made from a database of administrative records and not a result of a standardised national retinal-screening programme. Another study of national data found that the prevalence of registered DR rose by 27% from 2015 to 2018. DR information, however, was obtained from a different source, from the diabetes registry, but with a denominator of general population [2]. These are therefore national sources and cannot be aggregated together to estimate the prevalence of DR in people with T2DM.

However, detailed ophthalmological examinations have confirmed DR in Kazakhstan clinical studies which were conducted on a group of patients composed of patients with DR deliberately selected for the study for genetic or biomarker research [3,4]. These studies show capacity to conduct clinical research but are unable to calculate the rate of late detection of DR. This analysis was therefore based on the available evidence from Kazakhstan and what it can (and cannot) tell us about late detection, and the minimum data needed for a valid national assessment.

Methods

Published aggregate evidence was analysed in a structured way. The source set was provided by the research dossier which was already compiled and checked by the original journal and biomedical-index records. Studies were included if they reported data from Kazakhstan, involved subjects with T2DM, or directly examined DR registration or data-system limitations. Only as contextual information a qualitative study of the general ophthalmological access in East Kazakhstan was included [5]. Other study types that were excluded were studies from other countries, conference abstracts, mixed T1DM/T2DM disability cohorts, and publications without verifiable source records.

The design, population, ascertainment method, findings related to DR, and major limitations of each study were obtained. The difficulty in detecting the disease in its late stages was conceptualized as advanced or vision threatening disease diagnosed during the first recorded retinal examination. A national dataset was available for no stage of the first examination, consistently for visual acuity, diabetic macular oedema, previous screening history and the time since diagnosis of T2DM and retinal assessment. Thus, aggregated prevalence, detection multiplier, national odds ratio and multivariable prediction model were not computed. Data were analyzed narratively, and administrative data and preselected clinical groups were analyzed separately. Ethical approval was not necessary due to the use of only aggregate information from previously published works.

Results and Discussion

Evidence base

In this regard, four studies directly focused on DR in the patients with T2DM in Kazakhstan were found [1–4]. One further qualitative study was included only to provide background to potential constraints in the services available, and was therefore considered as a general descriptive study of access to ophthalmology [5]. The key evidence is summarized in the table below.

Table 1. Core Kazakhstan evidence relevant to diabetic retinopathy detection in type 2 diabetes

Source	Data source and population	Relevant finding	Methodological interpretation
Galiyeva et al. [1]	UNEHS cohort; 443,776 registered patients with T2DM	DR coded in 15,797 patients (3.6%)	Administrative frequency; screening coverage and stage at first examination were unavailable
Beisembinova et al. [2]	National statistical data, 2013–2018	Registered DR prevalence increased by 27% from 2015 to 2018	General-population denominator; DR reporting was separate from the diabetes registry
Magazova et al. [3]	Case-control study; 94 T2DM patients with DR, 94 without DR, and 51 controls	DR status confirmed by complete ophthalmological examination	Preselected groups; unsuitable for prevalence or late-presentation estimates
Magazova et al. [4]	Case-control study; 100 T2DM patients with DR, 98 without DR, and 30 controls	Studied circulating microRNAs had limited diagnostic potential	Supports direct retinal assessment; unsuitable for population-level inference

As shown in Table 1, the evidence available from Kazakhstan is largely administrative estimates, rather than screening cohorts that are standardized to quantify the stage of the disease at the first diagnosis.

The UNEHS study looked at the epidemiology and mortality due to diabetes, but did not specifically examine retinal-screening performance and was limited in its scope to the broadest national coverage available [1]. The reported 3.6% DR frequency can therefore not discriminate between patients with no retinal disease, patients with no history of a retinal examination, and patients with an uncorrelated ophthalmological record. The national statistical analysis also shows that the burden recorded has been on the rise, albeit on a different denominator and reporting route [2]. The direct comparison of the numbers with the cohort of UNEHS would thus be methodologically inappropriate. The studies combined suggest that there were no differences in diabetes or DR prevalence measured between screening-confirmed and administrative prevalence, suggesting fragmentation of diabetes and DR information. Both sources do not report distribution of non-proliferative and proliferative stages at the first examination. They also don't give a consistent amount of information about visual acuity, DME, previous retinal screening, and treatment needed at presentation. Thus, they were not able to calculate the percentage of patients with late detection of DR.

The clinical studies

A total of 94 patients with clinically confirmed DR and 94 T2DM patients without DR were included in the 2022 case-control study, which comprised full ophthalmological examination, including ophthalmoscopy and optical coherence tomography (OCT), and eye disease classification according to stage [3]. The study thus demonstrated the possibility of clinical grading in Kazakhstan. However, the groups were already pre-defined for genetic analysis and the prevalence rate of DR was unable to be calculated from the sample, nor could the frequency of late detection. In the 2025 study the authors compared 100 T2DM patients with DR, 98 patients without DR and 30 healthy controls [4]. Only modest differences in circulating miRNA levels were seen and the miRNAs investigated had low specificity. The authors thus did not suggest that these markers should be used for routine diagnosis of DR [4]. The significance of these clinical studies is that they utilized confirmed T2DM diagnosis, and direct ophthalmological evaluation. However, they were designed as a case-control study, which included intentional selection based on disease status. These are not representative of the general T2DM population, can be used to calculate screening coverage, nor can they be interpreted as a sign of late detection of DR in the country.

Interviews with 22 ophthalmologists in East Kazakhstan revealed lack of specialists and inequitable distribution, insufficient diagnostic equipment in some primary-care centers, delays in referrals and long queues, and incomplete medical records [5]. These results apply to ophthalmological services as a whole, and not from a DR-specific patient population. Therefore, these must be regarded as contextual factors that could affect access to retinal assessment and should not be interpreted as being causal. These barriers were not linked to late diagnosis of DR in the study, nor were the effects of these barriers quantified in patients with T2DM.

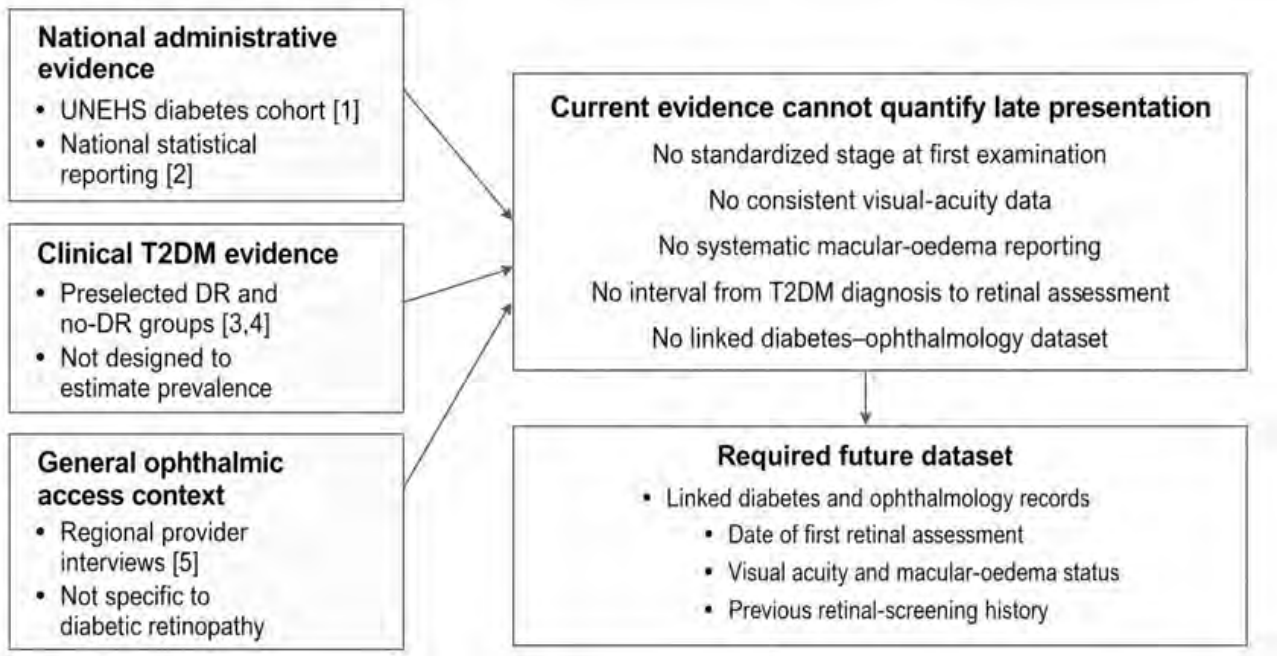


Figure 1. Methodological framework showing why currently available Kazakhstan evidence cannot provide a standardized national estimate of late-detected diabetic retinopathy.

Evidence gap and screening priorities

The main result of this analysis is not a national rate of late detection, but the lack of data to determine this rate. A future valid dataset is expected to contain diabetes and ophthalmology records linked to one another and contain the date of first retinal assessment, previous screening history, visual acuity, DR stage (standardized), diabetic macular-oedema status, treatment required at initial presentation. Some clinical variables to consider are: diabetes duration, glycated haemoglobin, blood pressure, renal disease, and diabetes treatment type and demographic factors. These data would allow for the pre-specification of a definition of late presentation, including severe non-proliferative DR, proliferative DR or diabetic macular oedema found at the first assessment of the retina. The independent associations could then be estimated by patient level analysis using multivariable logistic regression. Currently, there is no patient-level data available to compare that diabetes duration, glycaemic control, hypertension, nephropathy, rural residence and other candidate factors can be termed to be Kazakhstan-specific predictors of late DR detection until compatible data at the patient level becomes available. The evidence also does not support a specific national screening model. Future evaluation should involve primary-care retinal photography, teleophthalmology or automated image grading, which needs to be assessed regarding diagnostic accuracy, referral completion, feasibility, staff needs and cost-effectiveness in Kazakhstan. An economic comparison of these approaches is not provided in the present study.

This analysis was based on a limited and diverse sources sample and was not a comprehensive systematic review. Administrative studies relied on inappropriate denominators and reporting routes, and clinical studies involved self-selected case/control populations. No consistently reported full range of variables required to define late presentation. This was a qualitative access study that was not specific to patients with DR or diabetes. No included source provided enough patient-level data to allow calculation of national predictors, screening effectiveness, causal relationships or economic outcomes. These constraints limit the analysis to developing a list of measurement gaps and research priorities for the future.

Conclusion

Available Kazakhstan evidence does not allow for national-level quantification of late presentation of DR but rather documents it in administrative and clinical settings. There is no uniform information available for retinal-screening data or data from first examination in the registry; and clinical studies have preselected groups which are not appropriate for population estimates. Future studies should maintain linked information from diabetes and ophthalmology databases including the retinal stage, visual acuity, status of macular-oedema, history of previous screening and time from T2DM diagnosis to screening. This information is needed prior to the modelling of independent predictors or national screening strategies be evaluated clinically and economically.

References

1. Galiyeva D, Gusmanov A, Sakko Y, Issanov A, Atageldiyeva K, Kadyrzhanuly K, et al. Epidemiology of type 1 and type 2 diabetes mellitus in Kazakhstan: data from

Unified National Electronic Health System 2014–2019. BMC Endocr Disord. 2022;22:275. doi:10.1186/s12902-022-01200-6.
2. Beisembinova N, Kosherbayeva L, Balmukhanova A, Hailey D, Tolganbayeva K, Seyduanova L. Diabetes and diabetic retinopathy in Kazakhstan from 2013–2018. Curr Pediatr Res. 2021;25(7):685–690. doi:10.35841/0971-9032.25.7.685-690.
3. Magazova A, Ashirbekov Y, Abaildayev A, Satken K, Balmukhanova A, Akanov Z, et al. ITGA2 gene polymorphism is associated with type 2 diabetes mellitus in the Kazakhstan population. Medicina (Kaunas). 2022;58(10):1416. doi:10.3390/medicina58101416.
4. Magazova A, Ashirbekov Y, Abaildayev A, Satken K, Utegenova G, Belkozhayev A, et al. Circulating microRNAs demonstrate limited diagnostic potential for diabetic retinopathy in the population of Kazakhstan. PeerJ. 2025;13:e19259. doi:10.7717/peerj.19259.
5. Tulekenov M, Kapanova G, Imamatdinova A, Zhybanisheva K, Sarbassova Z, Dzhusupov K. Ophthalmological care delivery in East Kazakhstan: a qualitative study of ophthalmologists on system barriers and service organization. Front Public Health. 2026;14:1822513. doi:10.3389/fpubh.2026.1822513.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.018.229-234

NONINVASIVE PREOXYGENATION BEFORE EMERGENCY INTUBATION

Ayana Orda Makhsutkyzy
Medical Intern
Astana Medical University, Kazakhstan

ABSTRACT

Background. In critically ill adults, hypoxemia is a frequent occurrence during emergency tracheal intubation and can be a source of cardiac arrest and other major adverse events. The benefits of noninvasive ventilation (NIV) for preoxygenation have been inconsistent in terms of size and clinical relevance. Objective. To measure the relationship between NIV preoxygenation and peri-intubation hypoxemia with anonymized pooled data from randomized trials. Methods. A rapid systematic search of PubMed/MEDLINE, ClinicalTrials.gov, journal websites, and reference lists was performed. Randomized studies involving adults in critical condition who were undergoing emergency intubation comparing NIV to conventional oxygen-mask preoxygenation were included. Risk ratios (RR), risk difference (RD), 95% confidence interval (CI), and number needed to treat (NNT) were computed. When an event count was available, a random-effects synthesis was conducted for severe hypoxemia (SpO2 < 80%). Results. 1,555 individuals were eligible for three trials. Compatible binary data was obtained for severe hypoxemia from two trials. In both trials, NIV reduced

severe hypoxemia; exploratory pooled RR 0.34 (95% CI 0.13-0.91; I2=54%). Hypoxemia < 85% was present in 9.1% of the patients in PREOXI using NIV and in 18.5% of the patients using an oxygen mask (absolute decrease of 9.4, NNT 11). Conclusions. The evidence base for the effect of NIV preoxygenation on peri-intubation hypoxemia is limited and clinically varied.

KEYWORDS

noninvasive ventilation; preoxygenation; tracheal intubation; hypoxemia; critical care

INTRODUCTION

Physiologic differences between emergency tracheal intubation and elective airway management in critically ill adults. After induction, decreased FRC, intrapulmonary shunts, increased O2 consumption, shock and insufficient time for preparation may lead to rapid desaturation. Among the patients in the international INTUBE cohort, 45.2% had at least one major peri-intubation adverse event, severe hypoxemia in 9.3% and cardiac arrest in 3.1% [8]. Safe rapid sequence intubation thus relies on the prevention of hypoxemia.

Typical preoxygenation involves giving high concentration oxygen via a non-rebreather or similar face mask. NIV can also incorporate PEP, which can recruit collapsed alveoli, decrease work of breathing, and increase EELV. The 2023 SICM guideline recommends noninvasive positive pressure ventilation (NPPV) for preoxygenation in patients with severe hypoxemia, with conditional recommendations. But, NIV does need equipment, a good fitting facepiece, trained staff and consideration of aspiration risk and face tolerance.

There have been a few randomized trials comparing NIV to oxygen-mask preoxygenation, with the large PREOXI trial being the most recent. A brief quantitative re-evaluation is helpful as relative effects may greatly overestimate clinical significance, while absolute risk reduction and NNT can be easily understood at the bedside.

AIM AND OBJECTIVES

The purpose was to determine the effect of NIV preoxygenation on peri-intubation hypoxemia in critically ill adults. The purposes were: to locate randomized trials, to estimate relative and absolute effects from published counts of events, to determine consistency and to interpret clinical applicability.

MATERIALS AND METHODS

In the cases where feasible, a systematic review and secondary analysis of published aggregated data was performed in a rapid manner according to the PRISMA 2020 guidelines [7]. The PubMed/MEDLINE, ClinicalTrials.gov, journal websites and reference lists were searched from database inception. The following keywords were used in the search: preoxygenation AND noninvasive ventilation AND NIV AND NIPPV AND intubation AND randomized OR randomised. A second search included emergency intubation, tracheal intubation, oxygen mask, and hypoxemia.

Studies were eligible if they involved adults, randomized trials in the emergency department or intensive care unit (ICU) for urgent tracheal intubation, and used NIV preoxygenation or oxygen-mask preoxygenation. Studies in the elective operating

room, pediatric studies, nonrandomized studies, and trials that did not have relevant oxygenation outcomes were excluded.

Extracted variables included trial setting, sample size, intervention and comparator, how hypoxemia was defined, counts of events, and safety outcomes. RR and risk difference were computed for each binary outcome from the published group totals. The absolute risk reduction was reciprocal to calculate the NNT. Log RRs were pooled for severe hypoxemia (SpO_2 < 80%) by using an inverse-variance random-effects model with DerSimonian-Laird estimation. The heterogeneity was expressed in terms of I2. The pooled estimate was exploratory because two trials provided event counts, which were comparable at the group level. Qualitative assessment of risk of bias was carried out for randomization, outcome measurement, missing data, and selective reporting. No patient data or information that could identify individual patients was accessed.

RESULTS

Three randomized trials with 1,555 participants met the eligibility criteria [2,3,4]. The studies varied widely in the era, size, population studied, NIV protocol, comparator device and primary outcome measured.

In 2006 the two-center trial included 53 patients with hypoxemia in the intensive care unit. Of the 27 patients treated with NIV, 2 had severe hypoxemia (< 80%), while among the 26 patients treated with conventional preoxygenation, 12 had severe hypoxemia (< 80%). The RR calculated was 0.16 (0.04, 0.65) with the absolute risk reduction of 38.8 percentage points, and an NNT of ~3. The small sample made it difficult to determine whether the large effect was clinically significant.

The multicenter trial of 201 hypoxemic patients in 2018 primarily examined the development of subsequent organ dysfunction. It did not prove to be of great advantage in organ dysfunction, and no clear advantage in overall complications associated with intubation with NIV. Results of its severe-hypoxemia were not reported at a level that allowed for the prespecified quantitative synthesis and were thus excluded from the group-level analysis, but included in the qualitative analysis.

1,301 adults from 24 emergency departments and intensive care units were enrolled into PREOXI. The primary outcome (SpO2 < 85%) was seen in 57 of 624 patients (9.1%) in the NIV group and in 118 of 637 patients (18.5%) in the oxygen mask group. RR was 0.49 (95% CI 0.37-0.66); absolute risk reduction was 9.4 percentage points; NNT was 11. For SpO2 below 80%, events occurred in 39 of 624 (6.2%) and 84 of 637 (13.2%), respectively: RR 0.47 (95% CI 0.33-0.68), absolute risk reduction 6.9 percentage points, and NNT 15. Complications such as cardiac arrest were uncommon (0.2% vs 1.1%) and had large uncertainty and aspiration occurred in 0.9% vs 1.4%, also uncommon events with large uncertainty.

The two trials were combined into a single exploratory random-effects analysis, which contained 1,314 analyzable participants for severe hypoxemia. The pooled RR was 0.34 (95% CI 0.13-0.91), with moderate heterogeneity (I2=54%). The single trials found a benefit for both NIV, although the benefit was greater for the small 2006 trial.

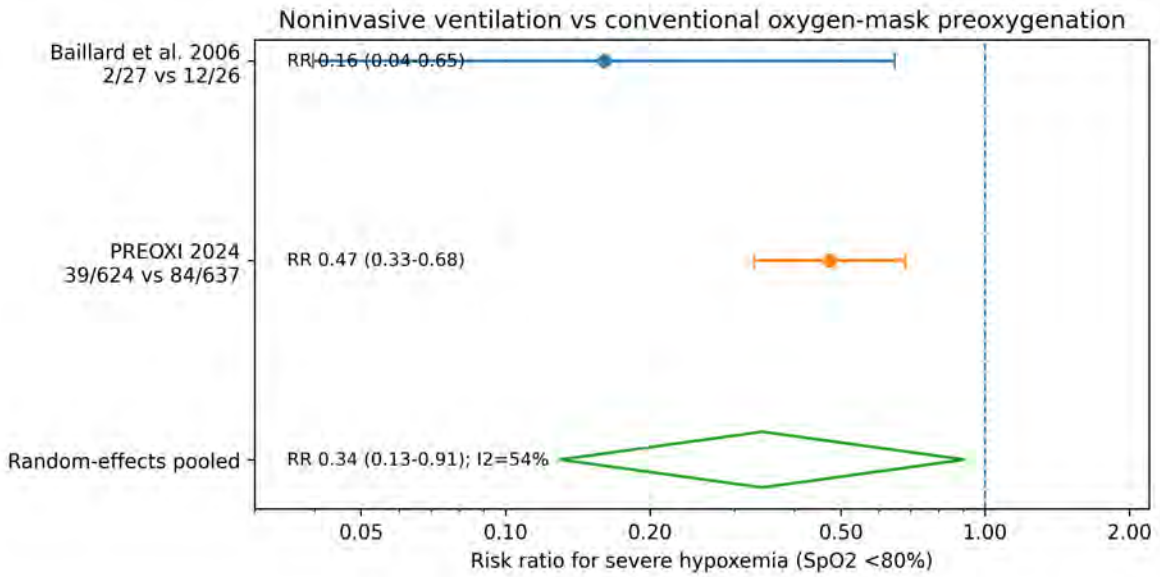


Figure 1. Effect of noninvasive ventilation on severe peri-intubation hypoxemia. Event counts are NIV versus conventional oxygen-mask preoxygenation.

DISCUSSION

The direction of the effects was consistent in this analysis: NIV preoxygenation had a beneficial effect on reducing peri-intubation hypoxemia when compared to conventional oxygen-mask preoxygenation. Of the reports cited, the best evidence is that from PREOXI, which was pragmatic, multicenter, and adequately sized to estimate a clinically meaningful reduction in hypoxemia. The NNT is approximately 11 for SpO2<85%, meaning that approximately every 11 patients who have an episode of hypoxia with an oxygen mask would have avoided an episode of hypoxia by receiving NIV treatment.

It is a plausible mechanism. Positive pressure will recruit dependent lung regions, raise the FRC, and help to ensure alveolar oxygen stores during induction. These effects are most relevant in patients with shunt physiology, obesity, pulmonary edema, pneumonia and acute hypoxemic respiratory failure. Patients with good oxygenation or patients who are unable to tolerate a tight fitting mask may benefit less.

These results should not be viewed as an indication that NIV is required for all emergency intubations. No one was excluded because the treating clinician thought NIV should be used, and operator dependence continued to be a problem in PREOXI. Do not use NIV if the child is actively vomiting; if there are serious facial injuries; if the child cannot protect their airway; or if laryngoscopy is needed immediately. Preparation must not be delayed in a precipitously deteriorating patient. Depending on the clinical context and skills available a conventional mask, bag-mask ventilation with positive end-expiratory pressure, or another oxygenation strategy may be more suitable.

The 2018 trial is another key one as it did not show benefit in organ damage. There is not necessarily a correlation between transient oxygen desaturation and death, length of stay in intensive care, or multiorgan failure prevention. The findings of the present study thus argue for NIV as a way of avoiding the complication of a procedure rather than substantiating it as a proven intervention that could save lives.

The trials were all open label, as unavoidable with such distinct devices. However, as oxygen saturations are an objective measure, this means bias in detection can be limited. The small 2006 trial may have overestimated the results and the moderate heterogeneity in the exploratory meta-analysis suggests that the overall results is not a substitute for clinical judgment. The overall evidence from the large contemporary trial and earlier evidence are supportive of using NIV when there is a high risk of desaturation and no contraindications.

LIMITATIONS

This was a short-term rapid review and not a “prospectively registered” full systematic review. The exact de-duplicated screening counts were not captured and only two trials gave binary data that was directly compatible for the severe-hypoxemia outcome for pooling. Two studies would yield unstable results for random-effects variance and I2. Definitions of hypoxemia, devices, NIV settings, and severity of patients were variable. Subgroup analysis and adjustment for baseline risk were not possible because of the aggregation of data. No meaningful assessment of publication bias was possible.

CONCLUSIONS

There is randomized data available on NIV preoxygenation that are publicly available and have shown that NIV preoxygenation is associated with a reduction in peri-intubation hypoxemia in critically ill adults when compared with oxygen-mask preoxygenation. The most reliable estimate is provided by PREOXI, which found that there was an absolute decrease of 9.4 percentage points for SpO2<85% and an NNT of 11. When it is safely and expeditiously implemented, NIV should be considered in high-risk patients who are prone to desaturation. There is not enough evidence to prove that mortality or organ failure benefit.

ETHICS, FUNDING, AND CONFLICTS OF INTEREST

The principles of ethics, funding, and conflicts of interest.

Published data were used exclusively and human subjects were not recruited and identifiable data were not accessed. There was no external funding received. The author has no conflict of interest to declare.

References

1. Acquisto, N. M., Mosier, J. M., Bittner, E. A., et al. (2023). Society of Critical Care Medicine clinical practice guidelines for rapid sequence intubation in the critically ill adult patient. Critical Care Medicine, 51(10), 1411-1430. https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000006000
2. Baillard, C., Fosse, J. P., Sebbane, M., Chanques, G., Vincent, F., Courouble, P., Cohen, Y., Eledjam, J. J., Adnet, F., & Jaber, S. (2006). Noninvasive ventilation improves preoxygenation before intubation of hypoxic patients. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 174(2), 171-177. https://doi.org/10.1164/rccm.200509-1507OC
3. Baillard, C., Prat, G., Jung, B., Futier, E., Lefrant, J. Y., Vincent, F., Hamdi, A., Vicaut, E., & Jaber, S. (2018). Effect of preoxygenation using non-invasive ventilation before intubation on subsequent organ failures in hypoxaemic patients: A randomised

clinical trial. British Journal of Anaesthesia, 120(2), 361-367. https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.11.067
4. Gibbs, K. W., Semler, M. W., Driver, B. E., et al. (2024). Noninvasive ventilation for preoxygenation during emergency intubation. New England Journal of Medicine, 390(23), 2165-2177. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2313680
5. Gioli-Pereira, L., et al. (2026). Effectiveness of noninvasive ventilation for preoxygenation in emergency intubation: A systematic review and meta-analysis. Critical Care Science, 38, e20260128. https://doi.org/10.62675/2965-2774.20260128
6. Mosier, J. M., Sakles, J. C., Law, J. A., Brown, C. A., Brindley, P. G., & Gibb, T. D. (2020). Tracheal intubation in the critically ill: Where we came from and where we should go. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 201(7), 775-788.
7. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
8. Russotto, V., Myatra, S. N., Laffey, J. G., et al. (2021). Intubation practices and adverse peri-intubation events in critically ill patients from 29 countries. JAMA, 325(12), 1164-1172. https://doi.org/10.1001/jama.2021.1727

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.019.234-241

NATIONAL TRENDS AND REGIONAL INEQUALITY IN MATERNAL MORTALITY IN KAZAKHSTAN: A SECONDARY ANALYSIS OF OPEN DATA, 2015–2024

Mukhatayeva Aknur Azamatkyzy
7th year intern
Bayazit Zhengisgul Bolatkyzy
7th year intern
Yeleshova Aimira Zhanatkyzy
7th year intern
Tuleugali Aru Alpamyskyzy
7th year intern
NJSC “West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University”
Aktobe, Kazakhstan

ABSTRACT

National averaged maternal mortality is an indicator of health system resilience but can mask significant territory variation. The aim of this study was to evaluate the national trend of maternal mortality ratio (MMR) in Kazakhstan and estimate the degree of regional disparities in the first year of the pandemic. The annual national series for the official figures were used for the period 2015-2024 and the residence-

based regional data were used for the years 2019 and 2020. The national series were analysed for percentage changes and period means, while regional distributions were summarised using medians, interquartile ranges, coefficients of variation, the percentile gaps and the rank correlation. National MMR increased from 13.7 per 100,000 live births in 2019 to 36.5 in 2020 and peaked at 44.7 in 2021. The 2020–2021 mean (40.6) was 3.10 times the 2015–2019 mean (13.08), followed by a decline to 10.1 in 2024. Regionally, all 17 units had higher MMR in 2020 compared to 2019. The median increased from 9.3 to 36.8 and the interquartile range increased from 12.9 to 27.8. Kostanay (94.4), North Kazakhstan (76.7), and Aktobe (70.3) had the highest 2020 rates. The correlation between 2019 and 2020 regional ranks was low (Spearman ρ=0.08), suggesting that the shock was not only in regions with higher levels of 2019. The findings justify ongoing subnational monitoring, the yearly review of all maternal deaths, and the need to interpret the annual regional rates with caution, due to the large volatility observed for small numbers of deaths.

Keywords: maternal mortality; maternal mortality ratio; regional disparities; Kazakhstan; COVID-19; open data; secondary analysis.

INTRODUCTION

Maternal mortality is preventable and a fundamental measure of the performance of health systems. The Maternal Mortality ratio (MMR) is the ratio between the number of maternal deaths and the number of live births over the same time period [1]. In 2023, over 700 women worldwide died daily due to pregnancy and childbirth related complications, and efforts towards SDG indicator 3.1 are not equal [1,2]. While it is important to track progress at a national level, there is also a need to analyse progress at subnational level as access to emergency obstetric care and referral pathways, workforce capacity, socioeconomic conditions differ by territory.

Prior to the COVID-19 outbreak, Kazakhstan had a significant drop in maternal mortality over the last few years, but the official data for 2020-2021 indicates a sharp increase. The BNS has an open SDG series for registered maternal deaths and live births, and the source is defined as the Ministry of Healthcare [3,4]. The increase during the pandemic has been described in previous studies, and it is hypothesized that this change is related to health-service and socioeconomic factors [5,6]. However, a brief and reproducible comparison of both the distribution of the regions before and during the first pandemic year, and the national path through the last complete year, can help provide a picture of both temporal recovery and the territorial inequalities.

The research question was: What has been the change in the national MMR from 2015 to 2024, and what has been the difference in the distribution of residential MMRs across the country in 2020 compared to 2019? The goal was to measure the size of the disruption and recovery at the national level, the areas that had the highest rates of disruption and recovery in 2020 and quantify the changes in regional dispersion without attributing cause through aggregate data.

MATERIALS AND METHODS

Study design and data sources

The data used for this secondary ecological study was publicly available, and data were analyzed in a retrospective manner. The annual MMR values from the SDG Indicator 3.1.1 portal in Kazakhstan [4] were used for the national series for the years 2015–2024. The indicator is computed as registered maternal deaths per 100,000 registered live births in the same period of time [3]. The statistical compendiums of the Ministry of Healthcare were used to extract regional data for 2019 and 2020 [7, 8]. To ensure consistency, deaths were analysed according to the region of usual residence of the woman, not the location of death. At the time, there were 17 administrative units in the region: 14 regions and the cities of Nur-Sultan, Almaty and Shymkent.

This search was last updated on 19 July 2026. There was also an open data dataset from the Ministry describing the regional maternal mortality in 2024-2025 [9]. It was not possible to include complete annual values with its observations, since these were from a partial year. The analytical endpoint was then further reduced from the planned 2015-2025 period to the last completed national year (2024). This decision did not include the incomplete observations in 2025 as annual rates.

Data validation and analysis

Values for the region for 2019 were independently available in the 2019 and 2020 compendia, and checked for exact correspondence. Absolute and relative changes and three period means (pre-pandemic (2015-2019), pandemic peak (2020-2021), post-peak (2022-2024)) were used to summarise national results. Relative change was computed as (Later MMR – Earlier MMR) / Earlier MMR × 100%.

In the regional comparison, a separate calculation of median, first and third quartile, interquartile range (IQR), unweighted mean, standard deviation, coefficient of variation (CV), 90th–10th percentile gap and the number of regions above the national rate has been carried out both in 2019 and 2020. Inequality between administrative units was described using an unweighted regional summary; the national official MMR was kept as the measure at the population level. Spearman rank correlation was used to determine if the regions with higher MMR in 2019 also tended to rank higher in 2020. All analyses were carried out in Python 3 with the help of pandas, NumPy, and SciPy. The data are based on aggregates of all published data from the region, not on a probability sample, so interpretation was focused on effect magnitude and distribution, not causal inference.

RESULTS

National trajectory, 2015–2024

The national MMR in Kazakhstan remained fairly consistent from 2015 to 2019, at an average of 12.5 to 14.0 per 100,000 live births (Figure 1). It rose from 13.7 in 2019 to 36.5 in 2020, an increase of 166.4%, and then reached 44.7 in 2021. The mean MMR for 2020–2021 was 40.6, compared with 13.08 for 2015–2019, producing a pandemic-to-pre-pandemic ratio of 3.10. A rapid decline followed: MMR fell to 17.0 in 2022, 11.4 in 2023, and 10.1 in 2024. The reduction from the 2021 peak to 2024 was

77.4%. The 2022–2024 mean was 12.83, close to the pre-pandemic mean, and the 2024 value was 19.2% below the 2015 value.

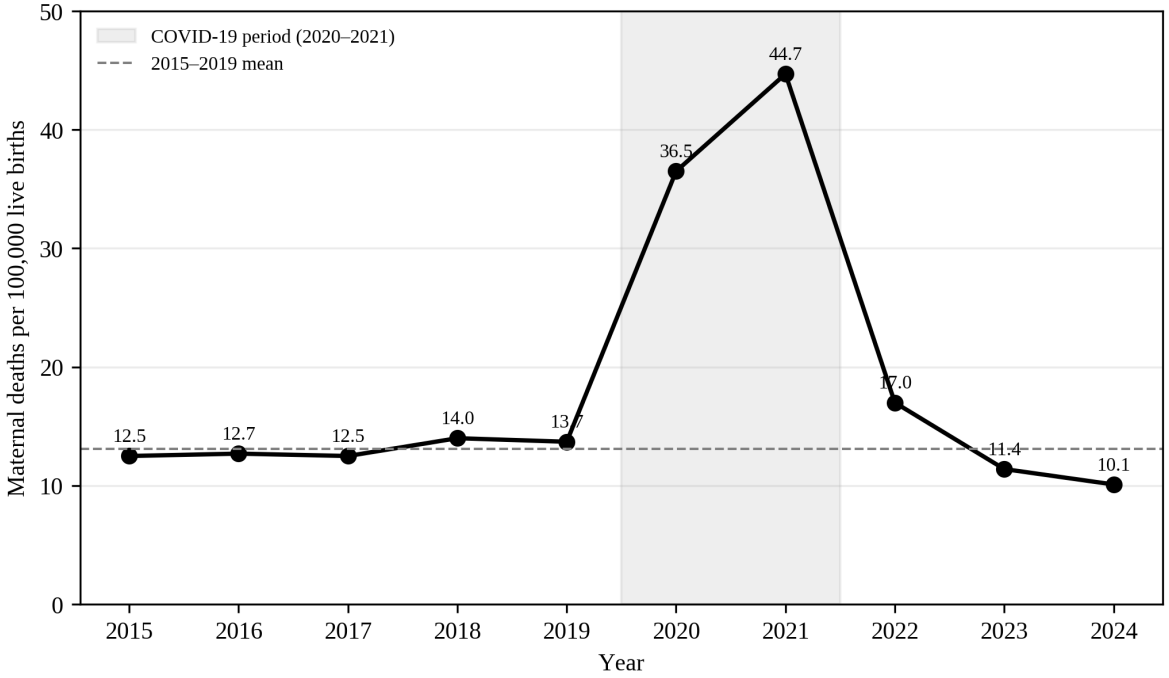


Figure 1. National maternal mortality ratio in Kazakhstan, 2015–2024. Source: authors' analysis of official SDG Indicator 3.1.1 data [4].

Regional inequality before and during the first pandemic year

The national number of registered maternal deaths increased from 55 in 2019 to 156 in 2020. All 17 administrative units had higher MMRs in 2020 compared to 2019. The median regional MMR rose from 9.3 (IQR 4.9–17.8) to 36.8 (IQR 25.5–53.3), and the median absolute increase was 21.6 per 100,000 live births. Compared to the 90 percentile – 10 percentile range in 1992, which was 23.9, the gap in 2002 widened by more than doubling to 52.0. The CV fell from 84.3 to 52.6, but this was due to the increase being fairly evenly distributed so that there was an absolute increase in the standard deviation from 10.9 to 22.4 (Table 1). The regions with more than the National MMR rose from seven to nine.

Table 1. Summary of regional maternal mortality distribution, 2019 and 2020

Measure	2019	2020
National MMR	13.7	36.5
Regional median (IQR)	9.3 (4.9–17.8)	36.8 (25.5–53.3)
Regional SD; CV	10.9; 84.3%	22.4; 52.6%
90th–10th percentile gap	23.9	52.0
Regions above national MMR	7 of 17	9 of 17

Note: regional statistics are unweighted summaries across 17 administrative units. MMR = maternal mortality ratio; IQR = interquartile range; SD = standard deviation; CV = coefficient of variation.

The highest rates of MMRs were recorded in 2020 in Kostanay (94.4), North Kazakhstan (76.7), and Aktobe (70.3). There were also large absolute increases in Kyzylorda (5.3 to 56.0) and Shymkent (7.1 to 53.3). No maternal deaths were noted in 2019 in two regions (Pavlodar, North Kazakhstan) while the rates were 25.7 and 76.7 in 2020. In 2019, Karaganda recorded the highest MMR (39.5) but was lower than a number of regions in 2020. There was little persistence in regional ranking with Spearman rank correlation between the 2 years only 0.08 (p=0.772) (Figure 2).

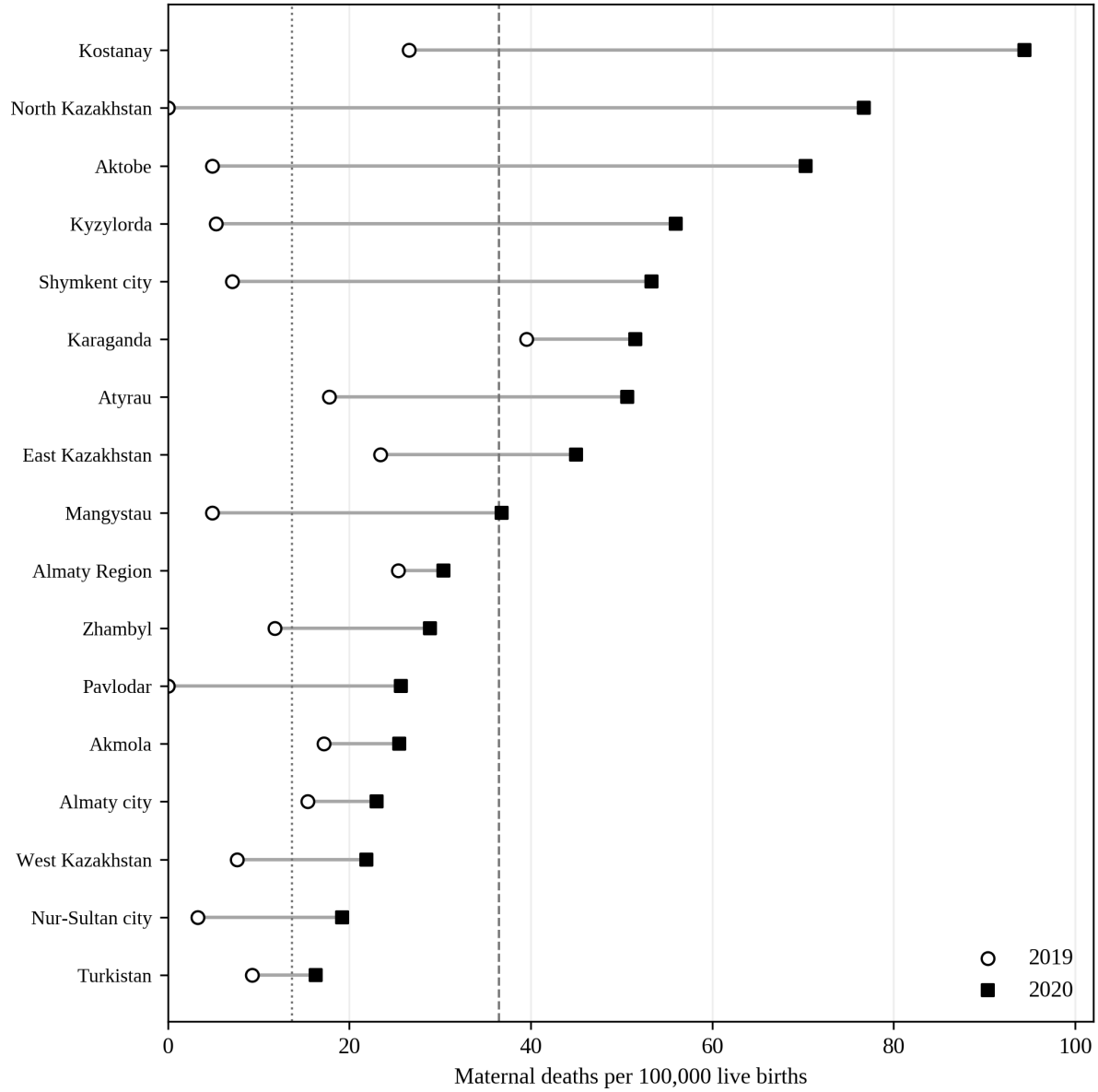


Figure 2. Change in residence-based maternal mortality ratios across 17 regions, 2019–2020. Dotted and dashed vertical lines show the national MMR in 2019 (13.7) and 2020 (36.5), respectively. Source: authors' analysis of Ministry of Healthcare statistical compendia [7,8].

DISCUSSION

This analysis reveals a significant, but short-lived national disruption, which sits on top of significant regional inequality. The national MMR increased almost three times in 2020, further rose in 2021 and dropped back into the pre-pandemic range in 2024. The increase in deaths follows the same trend as published Kazakhstan research

during the COVID-19 period, which correlated the rise with the indirect causes of maternal deaths, accounting for 76.3% of such deaths in 2020 [5]. The outcome also is congruent with the international evidence showing the pandemic linked to negative maternal and perinatal outcomes, both due to infection and to disruption of key services [10]. However, it is impossible in the current ecological design to separate out the effect of COVID-19 infection from late access, barriers to access, comorbidities, coding changes or other factors that are happening at the same time.

The regional results include two important observations. First, there was a geographical spread of the increase as all 17 regions experienced increases in MMR in 2020. This refutes the explanation of the national increase, based on one or two border territories. Second, the near zero rank correlation reveals that high pre-pandemic MMR was not a good indicator for the highest rates in the shock. For instance, in Aktobe, the number of reported deaths rose from 4.9 to 70.3, and North Kazakhstan went from zero reported deaths to 76.7. These rankings are not a continuation of previous rankings, but are patterns that were influenced by a system-wide emergency that also affected local service capacity and case mix. Another 2024 ecological study found that the regions had experienced significant variation in the year 2019 and that there was a strong correlation between antenatal-care coverage, primary-care capacity, education, and reported domestic violence in the regions [6]. Aggregate associations should be used as hypothesis generators since regional aggregates cannot determine individual level risk.

MRs are inherently unstable when there are few events to estimate. There are 17 regions, and nine of these had 3 or fewer maternal deaths in 2019, meaning that a single death could result in a significant rate change. A league table for one year does not necessarily mean there isn't risk; one year's league table may lead to a wrong performance classification. Annual rates should be reported with absolute counts, three-year rolling averages, and/or confidential review of each death to provide operational monitoring. The national recovery towards 10.1 in 2024 is heartening, but it must not be used to divert attention from preventable causes, preparing for referral in emergencies, access to intensive care facilities and continuity of ante- and post-natal care.

The suggestion for the practice is to merge a national early-warning indicator with the review by region in Kazakhstan's maternal-mortality surveillance. Regions with high rates should have quick qualitative case review, and regions with low or zero annual counts should have readiness assessment since their apparent location can shift rapidly. Timely machine-readable regional data, explicit distinction between place of residence and place of death, and denomination and cause-of-death groups would be enhancements to public reporting. These steps would enhance the quality and repeatability of the data and enable future analyses to differentiate between a persistent structural inequality and a statistical fluctuation in the data.

LIMITATIONS

The data used for the study are aggregated registered data, and there are differences in ascertainment, classification and completeness. The possibility of regional comparisons was constrained to 2019 and 2020 as a complete open annual series through 2024 or 2025 for all regions was not confirmed. The current county

structure, which has 20 regions, is not directly comparable to the study years, when the county structure was different. There were no tables extracted that included all the age variables, parity variables, cause-of-death variables, variables for comorbidities, ethnicity, rurality, or variables for health-service variables, which meant that there was no way to use adjusted analyses and no causal claims could be made. If the rates are based on small numbers, they have a large statistical uncertainty, and the unweighted summaries reflect the territorial inequality and not the average level of risk per woman. Lastly, the regional open-data set for 2024-2025 was not pooled due to the incomparability of partial-year observations with complete annual values.

CONCLUSION

In 2020-2021, Kazakhstan faced a significant maternal mortality crisis, and by 2024 had returned to and re-crossed the national range prior to the pandemic. The first year of the pandemic was also characterised by a regional rise in absolute dispersion and substantial changes in regional rankings, as well as a universal regional rise. The results validate continued subnational surveillance and emergency preparedness efforts, but also provide context for the importance of regional rates in a given year relative to absolute deaths and multi-year trends. Future releases of open data should be delivered as full annual regionals with consistent definitions, denominators, causes, and geographical boundaries in order to separate persistent inequalities from volatility due to rare events.

ETHICS AND DATA AVAILABILITY

No ethics approval is warranted because the study is based on anonymized, aggregate statistics that are publicly available. The Search and Analysis Dossier contains documentation of the source documents and the reproducible calculations.

References

1. World Health Organization. Maternal mortality. WHO; 2025. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality (accessed 19 July 2026).
2. World Health Organization, UNICEF, UNFPA, World Bank Group, and UNDESA/Population Division. Trends in maternal mortality 2000 to 2023. Geneva: World Health Organization; 2025. ISBN 978-92-4-010846-2. https://www.who.int/publications/i/item/9789240108462
3. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. 6.1 Maternal mortality: indicator metadata. Updated 31 December 2025. https://stat.gov.kz/en/open-data/stat-medicine/476552/ (accessed 19 July 2026).
4. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. SDG Indicator 3.1.1: Maternal mortality ratio. https://sdgdata.stat.gov.kz/en/3-1-1/ (accessed 19 July 2026).
5. Zhamantayev O, Kayupova G, Nukeshtayeva K, Yerdessov N, Bolatova Z, Turmukhambetova A. COVID-19 pandemic impact on maternal mortality in Kazakhstan and comparison with the countries in Central Asia. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023;20(3):2184. https://doi.org/10.3390/ijerph20032184

6. Nukeshtayeva K, Kayupova G, Yerdessov N, Bolatova Z, Zhamantayev O, Turmukhambetova A. Factors associated with maternal mortality in Kazakhstan: a pre- and during-pandemic comparison. Frontiers in Public Health. 2024;12:1337564. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1337564
7. Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. Public health in the Republic of Kazakhstan and activities of healthcare organizations in 2019: statistical compendium. 2020. https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/documents/details/58654?lang=en (accessed 19 July 2026).
8. Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. Public health in the Republic of Kazakhstan and activities of healthcare organizations in 2020: statistical compendium. 2021. https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/documents/details/246287?lang=en (accessed 19 July 2026).
9. Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. Statistics on maternal mortality by regions and the cities of Astana, Almaty and Shymkent, 2024–2025. Open Data Portal of Kazakhstan. Updated 10 June 2026. https://data.egov.kz/datasets/view?index=oblystardyn_onirlerdin_medic3 (accessed 19 July 2026).
10. Chmielewska B, Barratt I, Townsend R, et al. Effects of the COVID-19 pandemic on maternal and perinatal outcomes: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Global Health. 2021;9(6):e759–e772. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00079-6

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.020.241-244

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND FORENSIC RADIOLOGY IN MODERN FORENSIC MEDICINE

Smatulla Nurbolat
7th Year internship student
Department of General Medicine
Medical University, Kazakhstan

Abstract

Forensic medicine plays a critical role in the investigation of deaths, injuries, and legal cases by providing objective medical evidence for judicial proceedings. Recent advances in forensic radiology, including postmortem computed tomography (PMCT) and magnetic resonance imaging (PMMRI), have significantly improved the detection of traumatic injuries and internal pathological findings. At the same time, artificial

intelligence (AI) has emerged as a promising technology capable of enhancing image analysis, injury detection, victim identification, and pathological assessment through machine learning and deep learning algorithms. AI-assisted forensic investigations have the potential to increase diagnostic accuracy, reduce interpretation time, and improve the consistency of forensic reporting. However, challenges related to data quality, ethical issues, legal accountability, and algorithm transparency remain important barriers to widespread implementation. This review summarizes current developments in forensic radiology and AI applications in forensic medicine, highlighting their clinical value, current limitations, and future prospects for improving forensic practice.

Keywords: forensic medicine, artificial intelligence, forensic radiology, postmortem computed tomography (PMCT), forensic pathology, medical imaging, digital forensics.

Forensic medicine is a multidisciplinary branch of medical science that applies medical knowledge to legal investigations and judicial proceedings. It plays a fundamental role in determining the cause and manner of death, evaluating injuries, identifying unknown individuals, estimating the time since death, and providing objective medical evidence for criminal and civil cases. The conclusions of forensic experts are frequently used by courts and law enforcement agencies to reconstruct events, establish the circumstances of injuries, and ensure that justice is based on reliable scientific evidence. Consequently, forensic medicine represents an essential link between medicine and the legal system and contributes significantly to public safety and the administration of justice [1,2].

Over the past several decades, forensic medicine has undergone remarkable technological development. Traditional forensic examinations, including external inspection, autopsy, histopathological analysis, toxicological testing, and DNA profiling, continue to serve as the foundation of forensic practice. However, the increasing complexity of criminal investigations and the growing demand for objective, reproducible, and rapid forensic analyses have encouraged the adoption of advanced medical technologies. Modern forensic investigations now rely on a combination of pathology, radiology, molecular biology, genetics, digital imaging, and computer science to improve diagnostic accuracy and provide comprehensive forensic evidence [2,3].

Among these technological advances, forensic radiology has become one of the fastest-growing areas of forensic medicine. Postmortem imaging has transformed the examination of deceased individuals by allowing investigators to visualize internal anatomical structures without immediately performing invasive procedures. Postmortem computed tomography (PMCT), postmortem magnetic resonance imaging (PMMRI), and three-dimensional image reconstruction provide detailed information regarding skeletal injuries, internal organ damage, hemorrhage, foreign bodies, fractures, gunshot wounds, stab injuries, and other traumatic lesions. These techniques are particularly valuable in mass disasters, military conflicts, aviation accidents, and

situations where conventional autopsy is not possible or is restricted because of religious, cultural, or legal considerations [3,4].

Computed tomography has become one of the most frequently used imaging techniques in forensic investigations because of its ability to rapidly produce high-resolution images of the entire body. PMCT is highly effective in detecting fractures, metallic foreign objects, gas embolism, skeletal trauma, and ballistic injuries. Magnetic resonance imaging provides superior visualization of soft tissues and is especially useful for evaluating injuries involving the brain, spinal cord, muscles, ligaments, and internal organs. Together, these imaging modalities complement traditional autopsy by providing additional diagnostic information and permanent digital records that can be reviewed repeatedly during legal investigations [4,5].

In recent years, artificial intelligence (AI) has emerged as one of the most significant technological innovations in healthcare, including forensic medicine. AI systems based on machine learning and deep learning algorithms are capable of processing large volumes of medical data with remarkable speed and accuracy. These technologies have demonstrated excellent performance in medical image analysis, disease detection, pattern recognition, predictive modeling, and automated decision support. Their successful implementation in radiology, pathology, dermatology, and other medical specialties has encouraged researchers to investigate similar applications within forensic medicine [5,6].

Artificial intelligence has the potential to improve multiple aspects of forensic investigations. AI algorithms can automatically analyze postmortem CT and MRI images, detect skeletal fractures, identify hemorrhages, recognize injury patterns, estimate biological age and sex, and assist in the identification of unknown victims. Furthermore, AI-based facial recognition systems, fingerprint analysis, forensic odontology, and DNA interpretation have shown promising results in improving the speed and accuracy of forensic examinations. These developments reduce the workload of forensic specialists while minimizing subjective interpretation and human error [6,7].

The application of AI is also expanding into forensic pathology. Deep learning algorithms can assist in the microscopic evaluation of tissue samples, classify pathological changes, detect toxicological abnormalities, and support postmortem diagnosis. Automated image analysis may improve the reproducibility of pathological findings and facilitate standardized reporting across forensic institutions. As computational methods continue to evolve, AI is expected to become an increasingly valuable decision-support tool rather than a replacement for experienced forensic experts [7,8].

Although the potential benefits of artificial intelligence are substantial, several important challenges remain. AI algorithms require large, high-quality datasets for training and validation. Ethical considerations, patient confidentiality, legal responsibility, algorithm transparency, and international regulatory standards must also be carefully addressed before these technologies can be fully integrated into routine forensic practice. Consequently, continuous scientific research and multidisciplinary

collaboration remain essential for ensuring the safe and effective implementation of AI in forensic medicine [8,9].

Results and Discussion

Recent advances in forensic radiology and artificial intelligence have improved the accuracy and efficiency of forensic investigations. PMCT and PMMRI provide detailed visualization of traumatic injuries and internal organs, complementing traditional autopsy. AI assists in image analysis, injury detection, victim identification, and pathological assessment, reducing examination time and improving diagnostic consistency. However, challenges related to data quality, ethics, and legal regulation remain and require further research.

Conclusion

The integration of forensic radiology and artificial intelligence has significantly enhanced modern forensic medicine. These technologies improve diagnostic accuracy, support forensic experts, and provide reliable evidence for legal investigations. Although further validation and regulatory development are needed, AI is expected to become an important decision-support tool in future forensic practice.

References

1. Ondruschka B., Seifert D., Rotermund N., Fehnker A. A critical review of "Artificial intelligence in the practice of forensic medicine: a scoping review". International Journal of Legal Medicine. 2024;138(4):1667–1668.
2. Ketsekioulafis I., Filandrianos G., Katsos K., et al. Artificial Intelligence in Forensic Sciences: A Systematic Review of Past and Current Applications and Future Perspectives. Cureus. 2024;16(9):e70363.
3. Volonnino G., De Paola L., Spadazzi F., et al. Artificial intelligence and future perspectives in Forensic Medicine: a systematic review. Clinical Terapeutica. 2024;175(3):193–202. doi:10.7417/CT.2024.5062.
4. Scendoni R., La Russa R., Di Paolo M., et al. The artificial intelligence in autopsy and crime scene analysis. Clinical Terapeutica. 2024.
5. Khmara N., Baumeister R., Schweitzer W., Thali M., Ampanozi G. Virtopsy concept around the world: Institute-based survey of worldwide forensic postmortem imaging. Forensic Imaging. 2024;37:200595.
6. Hardy J.C.A., De Heus G., Duijst W.L.J.M., Latten B.G.H., Hofman P.A.M., Van Rijn R.R. Forensic Post-Mortem Imaging and Associated Technologies. In: Forensic and Legal Medicine: Clinical and Pathological Aspects. CRC Press; 2024.
2. Payne-James J., Byard R. (Eds.). Forensic and Legal Medicine: Clinical and Pathological Aspects. CRC Press; 2024.
3. Jangid C., Dalal J., Kumari K., Hamza M. From Traditional to Virtual: The Evolving Landscape of Autopsy Techniques in Forensic Science. Medicine, Science and the Law. 2024.
4. World Health Organization. Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health: WHO Guidance. Geneva: World Health Organization; 2021.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.021.245-252

AMBIENT AIR POLLUTION AND DRY EYE DISEASE — CURRENT EVIDENCE, BIOLOGICAL MECHANISMS, AND CLINICAL IMPLICATIONS

Seidakhmet Nuraiym Bagdauletqyzy
General practitioner (GP)
Laushanova Mira Galymovna
General practitioner (GP)
Department of General Medicine
Kazakh Medical University, Almaty. Kazakhstan
Ravshanbekova Mukhlissa Irismatovna
General practitioner (GP)
Astana medical university, Astana, Kazakhstan
Alibekkyzy Ayaulym
General practitioner (GP)
Astana medical university, Astana, Kazakhstan

ABSTRACT

Dry eye disease is a multifactorial condition in which environmental exposure may contribute to tear-film instability and ocular-surface injury. This structured narrative review summarizes current epidemiological and experimental evidence concerning the association between ambient air pollution and dry eye disease and considers its potential clinical implications. Nine verified publications were selected, including consensus reports, a systematic review, four human epidemiological studies, one experimental study, and an evidence-based management report. Population-based, administrative, case-crossover, and clinical investigations reported associations of ozone, nitrogen dioxide, particulate matter, carbon monoxide, temperature, and relative humidity with dry-eye symptoms, registered diagnoses, outpatient visits, or clinical parameters. However, findings varied according to pollutant, exposure period, climate, and outcome definition. Experimental evidence suggests that fine particulate matter can induce mitochondrial dysfunction, reactive oxygen species generation, inflammatory signalling, and corneal epithelial damage. Current findings support an association and biological plausibility but do not establish a definitive causal relationship in humans. Environmental factors may therefore be considered during individualized dry-eye assessment, while pollution-specific preventive and therapeutic interventions require further clinical evaluation.

Keywords: dry eye disease; ambient air pollution; particulate matter; ozone; ocular surface; oxidative stress; inflammation

INTRODUCTION

Dry eye disease (DED) is currently defined as a multifactorial, symptomatic disease characterized by loss of homeostasis of the tear film and/or ocular surface. Tear-film instability and hyperosmolarity, ocular-surface inflammation and damage, and neurosensory abnormalities are recognized as important etiological factors. This definition emphasizes that DED is not a single disorder but a heterogeneous condition with interacting tear-film, eyelid, ocular-surface, inflammatory, and neural components [1].

The ocular surface is continuously exposed to the external environment. Unlike many internal organs, the cornea, conjunctiva, eyelid margins, and precorneal tear film come into direct contact with airborne particles and gaseous pollutants. Fine particulate matter, coarse particles, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and other products of combustion may interact with the tear film or deposit on the ocular surface. Their effects can also be modified by temperature, humidity, wind, ultraviolet radiation, and individual susceptibility. The TFOS Lifestyle Report concluded that environmental conditions can affect ocular-surface homeostasis and that pollution is associated with DED and other ocular-surface disorders, although the evidence is not equally consistent for every pollutant [2].

The interpretation of this evidence remains challenging. Human studies have used substantially different outcomes, including self-reported symptoms, a previous physician diagnosis, insurance claims, outpatient attendance, tear-film breakup time, tear osmolarity, and ocular-surface staining. These outcomes represent different aspects of DED and cannot be considered directly interchangeable. Furthermore, most epidemiological studies are observational and use measurements from regional monitoring stations rather than personal exposure data. A recent systematic review nevertheless identified 102 relevant preclinical and clinical studies and found that particulate matter exposure was associated with inflammatory and oxidative injury, reduced tear production, ocular-surface damage, irritation, burning, and DED-related manifestations [3].

The aim of this review was to summarize current epidemiological evidence regarding the association between ambient air pollution and DED, describe the principal biological mechanisms that may underlie this relationship, and identify clinically relevant implications and research gaps.

The objectives were to compare findings across different epidemiological outcomes, examine the modifying influence of meteorological conditions, evaluate experimental evidence for oxidative and inflammatory injury, and distinguish evidence-supported clinical management from recommendations based mainly on biological plausibility.

MATERIALS AND METHODS

A structured narrative review was conducted using publications available through July 2026. A targeted literature search was performed in PubMed/MEDLINE, PubMed Central, and official journal and publisher databases. Reference lists of relevant consensus reports and systematic reviews were also examined.

The principal search terms included “dry eye disease,” “ambient air pollution,” “outdoor air pollution,” “particulate matter,” “PM2.5,” “PM10,” “ozone,” “nitrogen dioxide,” “ocular surface,” “oxidative stress,” “mitochondrial dysfunction,” and “inflammation.” Priority was given to English-language publications from 2015

onward, although an earlier study was retained when it provided important population-level evidence.

Eligible publications included authoritative consensus reports, systematic reviews, human epidemiological studies evaluating outdoor pollution and DED-related outcomes, and experimental research addressing relevant biological mechanisms. Tobacco-only studies, indoor-only exposure studies without a clear ambient component, studies limited to allergic conjunctivitis, and publications without a defined DED-related outcome were excluded. Nine core publications were selected according to methodological relevance, bibliographic verification, and their contribution to epidemiological, mechanistic, or clinical interpretation.

RESULTS

Epidemiological evidence

The selected human studies used four complementary approaches: population-based assessment, administrative health data, short-term case-crossover analysis, and repeated clinical examination. Together, they illustrate both the potential association between ambient pollution and DED and the considerable heterogeneity of the available evidence.

Hwang et al. analysed 16,824 adults participating in the fifth Korea National Health and Nutrition Examination Survey. DED was defined as a previous diagnosis by an ophthalmologist or frequent ocular pain and discomfort. Annual measurements of ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, PM_{10}, and humidity were obtained from 283 monitoring stations. In the fully adjusted model, each 0.003-ppm increase in ozone was associated with greater odds of DED symptoms (odds ratio [OR] 1.17; 95% confidence interval [CI] 1.02–1.34) and a previous DED diagnosis (OR 1.27; 95% CI 1.09–1.48). A 0.003-ppm increase in nitrogen dioxide was also associated with a previous diagnosis (OR 1.12; 95% CI 1.02–1.23). Conversely, each 5% increase in humidity was associated with lower odds of symptoms and diagnosis. Sulfur dioxide and PM_{10} did not demonstrate statistically significant associations [4]. These findings suggest pollutant-specific effects but cannot establish temporal sequence because of the cross-sectional design.

A Taiwanese case-crossover study used a national insurance database containing one million beneficiaries and identified 25,818 individuals with a first recorded occurrence of DED between 2004 and 2013. Environmental measurements were assigned using monitoring stations adjacent to the clinics attended by the patients. Carbon monoxide, nitrogen dioxide, and temperature were positively associated with registered DED, whereas relative humidity was negatively associated. The authors interpreted the combination of carbon monoxide and nitrogen dioxide as a potential surrogate for traffic-related emissions [5]. Nevertheless, a claims-recorded diagnosis may be influenced by healthcare access and coding practices and is not equivalent to DED confirmed through standardized symptoms and clinical tests.

Mo et al. studied 5,062 DED patients in Hangzhou, China, using a time-stratified case-crossover design. Daily concentrations of $PM_{2.5}$, PM_{10}, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and carbon monoxide were significantly associated with outpatient visits for DED. Associations were stronger during the cold season, and patients aged 21–40 years appeared to be particularly susceptible [6]. This design offers stronger temporal

information about short-term changes than a cross-sectional study, but the measured outcome was healthcare utilization rather than the biological incidence of newly developed DED. Increased visits may reflect symptom exacerbation, changes in healthcare-seeking behaviour, or both.

A hospital-based retrospective cohort study by Choi et al. provided more detailed clinical outcomes. Fifty-three patients were repeatedly assessed using the Symptom Assessment in Dry Eye questionnaire, tear secretion, tear-film breakup time, ocular-surface staining, and tear osmolarity. After adjustment for covariates, lower humidity or temperature was associated with worse symptoms. Higher $PM_{2.5}$, ozone, and nitrogen dioxide concentrations were associated with increased symptom scores and tear osmolarity. Higher ozone was additionally associated with reduced tear secretion and shorter tear-film breakup time, while nitrogen dioxide was associated with greater ocular-surface staining [7]. Although this study connected environmental measurements with objective clinical indicators, its small hospital-based sample limits population-level generalization.

Table 1. Characteristics of the principal human studies

Country	**Design and sample**	**Exposure**	**DED-related outcome**	**Principal findings**	**Main limitation**
South Korea	Population-based cross-sectional study; 16,824 adults	O_3, NO_2, SO_2, PM_{10} and humidity	Frequent symptoms or previous ophthalmologist diagnosis	O_3 associated with symptoms and diagnosis; NO_2 associated with diagnosis; humidity inversely associated; PM_{10} and SO_2 not significant	Cross-sectional design and station-based exposure
Taiwan	Case-crossover analysis; 25,818 registered cases	CO, NO_2, other pollutants, temperature and humidity	First insurance-recorded DED occurrence	CO, NO_2 and temperature positively associated; humidity negatively associated	Administrative diagnosis and clinic-based exposure assignment
China	Time-stratified case-crossover study; 5,062 patients	$PM_{2.5}$, PM_{10}, SO_2, NO_2 and CO	Daily outpatient visits	Significant short-term associations; stronger in the cold season and among adults aged 21–40 years	Visits represent healthcare utilization, not incidence
South Korea	Hospital-based retrospective cohort; 53 patients	$PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO, temperature and humidity	SANDE, tear secretion, TBUT, staining and osmolarity	$PM_{2.5}$, O_3 and NO_2 associated with selected symptoms and clinical parameters	Small clinical sample

The studies therefore support an association between ambient pollution and several DED-related outcomes, but they do not identify a single pollutant with completely consistent effects across all populations and measurements. Ozone and nitrogen dioxide showed relatively consistent adverse associations, whereas results for particulate matter and carbon monoxide varied. Differences in exposure windows, climate, pollutant mixtures, statistical models, and outcome definitions may partly explain these discrepancies [2–7].

Biological mechanisms

The tear film represents the first barrier between ambient pollution and the ocular surface. Deposition of particles and interaction with reactive gases may alter its lipid, aqueous, or mucin components. Low humidity may further accelerate evaporation, reducing the ability of tears to dilute and clear deposited irritants. However, direct human evidence connecting individual pollutants with specific tear-film molecular changes remains limited [2,3].

Yu et al. investigated $PM_{2.5}$ exposure using cultured human corneal epithelial cells and an experimental mouse model. $PM_{2.5}$ exposure produced superficial punctate keratopathy and corneal inflammation in mice. In cultured cells, exposure increased intracellular and mitochondrial reactive oxygen species in a concentration- and time-dependent manner. It also reduced mitochondrial membrane potential and intracellular adenosine triphosphate production, indicating impaired cellular energy metabolism [8].

Mitochondrial dysfunction appeared to connect oxidative stress with inflammatory signalling. Reactive oxygen species suppressed the protective Nrf2 pathway and promoted activation of the NF-κB p65 pathway and downstream inflammatory mediators. Experimental Nrf2 overexpression, NF-κB p65 knockdown, or reactive oxygen species clearance partially reduced these cellular abnormalities. These results support the following proposed sequence:

Ambient pollutant deposition → mitochondrial dysfunction → reactive oxygen species generation → oxidative stress → NF-κB-mediated inflammation → corneal epithelial injury → tear-film instability → DED-related manifestations.

This pathway is biologically plausible, but it is based mainly on preclinical models. Experimental concentrations, exposure durations, and animal or cell-culture conditions may not precisely reproduce ordinary human outdoor exposure [3,8].

Ambient particulate and gaseous pollutants deposit on the tear film and ocular surface. Oxidative stress and mitochondrial dysfunction increase reactive oxygen species, suppress protective Nrf2 signalling, and activate NF-κB-mediated inflammation. The resulting epithelial injury and barrier dysfunction may destabilize the tear film and contribute to dry-eye symptoms and clinical signs. This model is based predominantly on preclinical evidence and does not independently prove causation in humans.

DISCUSSION

The reviewed evidence indicates that ambient air pollution is associated with multiple DED-related outcomes, including symptoms, previous or registered diagnoses, outpatient attendance, tear-film breakup time, tear secretion, osmolarity,

and ocular-surface staining. The association is therefore not confined to subjective discomfort. Nevertheless, it is also not uniform: a pollutant associated with one outcome may show no significant relationship with another. For example, the Korean population study identified associations for ozone and nitrogen dioxide but not PM_{10}, while the Hangzhou study reported short-term associations between outpatient visits and several particulate and gaseous pollutants [4,6].

Several methodological factors may contribute to this inconsistency. First, DED definitions differed substantially. A previous physician diagnosis, an insurance code, a hospital visit, a symptom questionnaire, and an abnormal tear-film test represent distinct outcomes. Second, most exposure estimates were based on fixed outdoor monitoring stations. Such measurements cannot account for the amount of time participants spent indoors, commuting, wearing eye protection, or moving between areas with different pollution levels. Third, ambient pollutants often occur as correlated mixtures. Nitrogen dioxide may represent traffic-related combustion, whereas ozone formation depends on photochemical processes and meteorological conditions. Statistical separation of their independent effects is therefore difficult. Finally, humidity, temperature, season, and wind may influence both pollution concentrations and tear evaporation [2–7].

The available research supports biological plausibility more strongly than it supports direct human causality. Experimental studies demonstrate that $PM_{2.5}$ can produce oxidative stress, mitochondrial impairment, inflammatory signalling, and corneal epithelial injury. However, most human evidence remains cross-sectional, retrospective, ecological, or based on case-crossover comparisons. These designs can identify associations and short-term temporal patterns but cannot completely exclude residual confounding or demonstrate that pollution independently initiates chronic DED [3,8].

The findings have several cautious clinical implications. Environmental exposure may be considered when assessing patients whose symptoms fluctuate by season, location, weather, or pollution episode. Clinicians can ask whether symptoms worsen during outdoor activities, traffic exposure, or periods of low humidity. Management should still be guided by the patient's DED subtype and clinical findings rather than by pollution exposure alone.

TFOS DEWS III recommends individualized treatment directed at relevant etiological drivers. Tear-film supplementation, conservation and stimulation remain central components of care. Meibomian gland dysfunction may require warm compresses, lid hygiene, or appropriate in-office procedures, whereas inflammatory disease may require evidence-based anti-inflammatory treatment. Environmental adjustments and patient education are recognized elements of long-term management [9].

Maintaining a comfortable indoor environment, reducing direct airflow toward the eyes, improving blinking behaviour, and appropriately using ocular lubricants may be incorporated into general DED management. Preservative-free formulations may be preferable when drops must be used frequently. Nevertheless, most pollution-specific

measures have not been tested in adequately powered randomized trials. Current evidence does not justify prophylactic corticosteroids, immunomodulatory drops, vitamins, or antioxidant formulations solely because a patient lives in a polluted area [2,9].

This review has limitations. It was a targeted narrative synthesis of nine key publications rather than an exhaustive systematic review or meta-analysis. The selected human studies were concentrated in East Asia, which may limit geographical generalizability. The small number of publications also prevented formal assessment of publication bias or calculation of pooled effect estimates. In the underlying evidence base, additional limitations included ecological exposure assignment, heterogeneous DED definitions, limited individual-level exposure monitoring, and insufficient separation of outdoor and indoor pollution.

Future research should use prospective cohort designs, standardized TFOS-compatible DED outcomes, and personal exposure sensors. Repeated assessment of symptoms, tear-film stability, osmolarity, ocular-surface staining, inflammatory biomarkers, and meibomian gland function would provide more clinically meaningful evidence than administrative codes alone. Studies should also analyse pollutant mixtures and particulate chemical composition rather than particle mass only. Randomized studies of practical environmental interventions are needed before pollution-specific preventive recommendations can be considered evidence based [2,3].

CONCLUSIONS

Ambient air pollution is associated with dry-eye symptoms, registered diagnoses, outpatient visits, and selected clinical abnormalities. Ozone, nitrogen dioxide, and particulate matter appear to be relevant, although reported effects vary by pollutant, exposure period, climate, and outcome definition. Experimental research provides a biologically plausible pathway involving mitochondrial dysfunction, reactive oxygen species, inflammatory signalling, and epithelial injury. However, heterogeneous observational designs and ecological exposure assessment prevent definitive conclusions that ambient pollution independently causes DED in humans. Environmental factors may be considered during individualized assessment and long-term management, but pollution-specific preventive or therapeutic interventions require further prospective and interventional evaluation [2,3,8,9].

References

1. Wolffsohn JS, Benítez-Del-Castillo JM, Loya-Garcia D, Inomata T, Iyer G, Liang L, et al. TFOS DEWS III: Diagnostic Methodology. Am J Ophthalmol. 2025;279:387–450. doi:10.1016/j.ajo.2025.05.033.
2. Alves M, Asbell P, Dogru M, Giannaccare G, Grau A, Gregory D, et al. TFOS Lifestyle Report: Impact of environmental conditions on the ocular surface. Ocul Surf. 2023;29:1–52. doi:10.1016/j.jtos.2023.04.007.
3. Iqbal S, Ramini A, Kaja S. Impact of particulate matter and air pollution on ocular surface disease: A systematic review of preclinical and clinical evidence. Ocul Surf. 2025;35:100–116. doi:10.1016/j.jtos.2024.12.003.

4. Hwang SH, Choi YH, Paik HJ, Wee WR, Kim MK, Kim DH. Potential importance of ozone in the association between outdoor air pollution and dry eye disease in South Korea. JAMA Ophthalmol. 2016;134(5):503–510. doi:10.1001/jamaophthalmol.2016.0139.
5. Zhong JY, Lee YC, Hsieh CJ, Tseng CC, Yiin LM. Association between dry eye disease, air pollution and weather changes in Taiwan. Int J Environ Res Public Health. 2018;15(10):2269. doi:10.3390/ijerph15102269.
6. Mo Z, Fu Q, Lyu D, Zhang L, Qin Z, Tang Q, et al. Impacts of air pollution on dry eye disease among residents in Hangzhou, China: A case-crossover study. Environ Pollut. 2019;246:183–189. doi:10.1016/j.envpol.2018.11.109.
7. Choi YH, Song MS, Lee Y, Paik HJ, Song JS, Choi YH, et al. Adverse effects of meteorological factors and air pollutants on dry eye disease: A hospital-based retrospective cohort study. Sci Rep. 2024;14:17776. doi:10.1038/s41598-024-68070-x.
8. Yu D, Cai W, Shen T, Wu Y, Ren C, Li T, et al. $PM_{2.5}$ exposure increases dry eye disease risks through corneal epithelial inflammation and mitochondrial dysfunctions. Cell Biol Toxicol. 2023;39(6):2615–2630. doi:10.1007/s10565-023-09791-z.
9. Jones L, Craig JP, Markoulli M, Karpecki P, Akpek EK, Basu S, et al. TFOS DEWS III: Management and Therapy. Am J Ophthalmol. 2025;279:289–386. doi:10.1016/j.ajo.2025.05.039.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.022.252-257

THE ROLE OF NT-proBNP AND TROPONIN IN PREDICTING CARDIAC COMPLICATIONS AFTER CARDIAC SURGERY

Oral Beknur Orazbayuly
7th Year internship student
Department of General Medicine
S. Zh. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Kazakhstan

Abstract

Introduction. Cardiac surgery is one of the high-risk interventions performed in patients with severe somatic and chronic pathologies. According to the World Health Organization, more than 300 million major surgical procedures are performed annually worldwide. Among these, 10–15% of patients have cardiovascular diseases, which significantly increases the risk of postoperative complications. According to statistical data, major adverse cardiac events (MACE) occur in approximately 12–15% of cases after surgery. In patients with severe somatic diseases, the frequency of myocardial injury after non-cardiac surgery (MINS) ranges from 8% to 17%. Furthermore, according to the national registry, the 30-day mortality rate from cardiovascular

complications after cardiac surgery reaches 8–10% in high-risk patients. In this context, in recent years, cardiac biomarkers have attracted interest as a non-invasive method for perioperative risk stratification. Among them, NT-proBNP is a neurohormone released in response to ventricular wall stretch and serves as a sensitive marker of heart failure and hemodynamic stress. Meanwhile, high-sensitivity troponin I (hs-cTnI) is the most specific biochemical indicator of cardiomyocyte necrosis. Therefore, studying the role of these two biomarkers in the early prediction of potential cardiovascular complications within the first 30 days after cardiac surgery in clinical practice is of primary interest.

Aim of the study. To evaluate the individual and combined integrated diagnostic efficacy of NT-proBNP and hs-cTnI levels in predicting major cardiac complications within the first 30 days after surgery, based on a retrospective patient database.

Materials and methods. The study involved a retrospective cohort analysis of electronic and archived medical records from the cardiac surgery department at Almaty City Hospital No. 4. The study sequentially included data from all patients who underwent elective coronary artery bypass grafting (CABG) or heart valve surgery at the cardiac surgery department of Almaty City Hospital No. 4 between December 2024 and June 2025. Inclusion criteria were: age ≥ 18 years, availability of NT-proBNP and hs-cTnI levels measured on postoperative days 1–3, and availability of complete clinical data. Exclusion criteria were: acute coronary syndrome, patients admitted for surgery with cardiogenic shock, patients with end-stage renal failure on hemodialysis, and patients after heart transplantation. Based on these criteria, data from 119 patients were included in the study. Data collection was performed from a standardized electronic medical system and the hospital archive database, including demographic parameters: age, sex, body mass index (BMI). Clinical parameters recorded included: EuroSCORE II, left ventricular ejection fraction (LVEF), type of surgery, operative time, and cardiopulmonary bypass time. Laboratory parameters were obtained from samples drawn at 24, 48, and 72 hours postoperatively, and the peak values were used for analysis: NT-proBNP measured by electrochemiluminescence (Roche Cobas) and hs-cTnI measured by chemiluminescent immunoassay (Abbott Architect). The primary outcome measure was 30-day postoperative events, including: new-onset atrial fibrillation (NOAF) – confirmed by ECG or Holter monitoring; acute heart failure (AHF) – recorded based on clinical and echocardiographic criteria; perioperative myocardial infarction (type 4) – defined by troponin elevation and ECG changes. Additionally, reoperation due to bleeding or mediastinitis, and all-cause mortality were considered. For quantitative variables, statistical evaluation was presented as mean ± SD for normal distribution or median (IQR) for non-normal distribution. Qualitative variables were expressed as frequencies and percentages. Group comparisons were performed using Student's t-test, Mann–Whitney U test, and χ^2 test. To identify independent factors associated with MACE, the Enter method was used, with age, sex, EuroSCORE II, type of surgery, log-transformed NT-proBNP, and hs-cTnI entered into the model, and both univariate and multivariate logistic regression analyses were performed. Predictive performance of the markers was evaluated using ROC analysis,

and AUC comparisons were performed using the DeLong method. Optimal cut-off values were determined using the Youden index. Statistical significance was set at $p < 0.05$. For data automation and high-precision calculations, IBM SPSS 26.0 and MedCalc 22.0 software were used.

Results. The mean age of the 119 patients included in the study was 67.2 ± 9.4 years (range: 42 to 86 years). Males predominated – 81 patients (68.1%). In terms of cardiac interventions, 87 patients (73.1%) underwent CABG, and 32 patients (26.9%) underwent valve surgery. The median EuroSCORE II was 3.2% (IQR: 1.9 – 5.8).

Table 1 – Baseline characteristics (entire cohort, n=119)

Parameter	Value
Demographics	
Age (years), mean ± SD	67.2 ± 9.4
Male sex, n (%)	81 (68.1%)
BMI (kg/m²), mean ± SD	28.4 ± 4.1
Clinical parameters	
EuroSCORE II (%), median (IQR)	3.2 (1.9 – 5.8)
LVEF (%), mean ± SD	55.1 ± 10.3
CPB time (min), median (IQR)	74 (55 – 98)
Aortic cross-clamp time (min), median (IQR)	52 (38 – 72)
Type of surgery	
CABG, n (%)	87 (73.1%)
Valve surgery, n (%)	32 (26.9%)
Biomarkers (peak values)	
NT-proBNP (pg/mL), median (IQR)	1035 (420 – 2350)
hs-cTnI (ng/mL), median (IQR)	1.10 (0.45 – 2.40)

MACE occurred in 49 patients, accounting for 41.2% of cases.

Table 2 – Structure of 30-day composite cardiac events (n=119)

Event type	n (%)
New-onset atrial fibrillation	26 (21.8%)
Acute heart failure	12 (10.1%)
Perioperative infarction	7 (5.9%)
Reoperation	4 (3.4%)
All-cause mortality	4 (3.4%)
Total (MACE)	49 (41.2%)

Table 3 – Comparative characteristics of biomarker levels

Biomarker	MACE group (n=49)	Non-MACE group (n=70)	p-value
NT-proBNP (pg/mL), median (IQR)	1850 (980 – 3200)	810 (380 – 1450)	<0.001
hs-cTnI (ng/mL), median (IQR)	1.85 (1.10 – 3.20)	0.72 (0.35 – 1.40)	<0.001
NT-proBNP > 1000 pg/mL, n (%)	37 (75.5%)	26 (37.1%)	<0.001
hs-cTnI > 1.4 ng/mL, n (%)	33 (67.3%)	18 (25.7%)	<0.001

Table 4 – Multivariate logistic regression (for 30-day MACE)

Variable	aOR	95% CI	p-value
Age (per 1 year)	1.04	0.99 – 1.09	0.082
Male sex	0.82	0.38 – 1.77	0.612
EuroSCORE II (per 1%)	1.12	0.95 – 1.31	0.178
CABG (vs. non-CABG)	1.25	0.62 – 2.52	0.534
NT-proBNP > 1000 pg/mL	3.10	1.51 – 6.34	0.002
hs-cTnI > 1.4 ng/mL	2.70	1.28 – 5.75	0.009

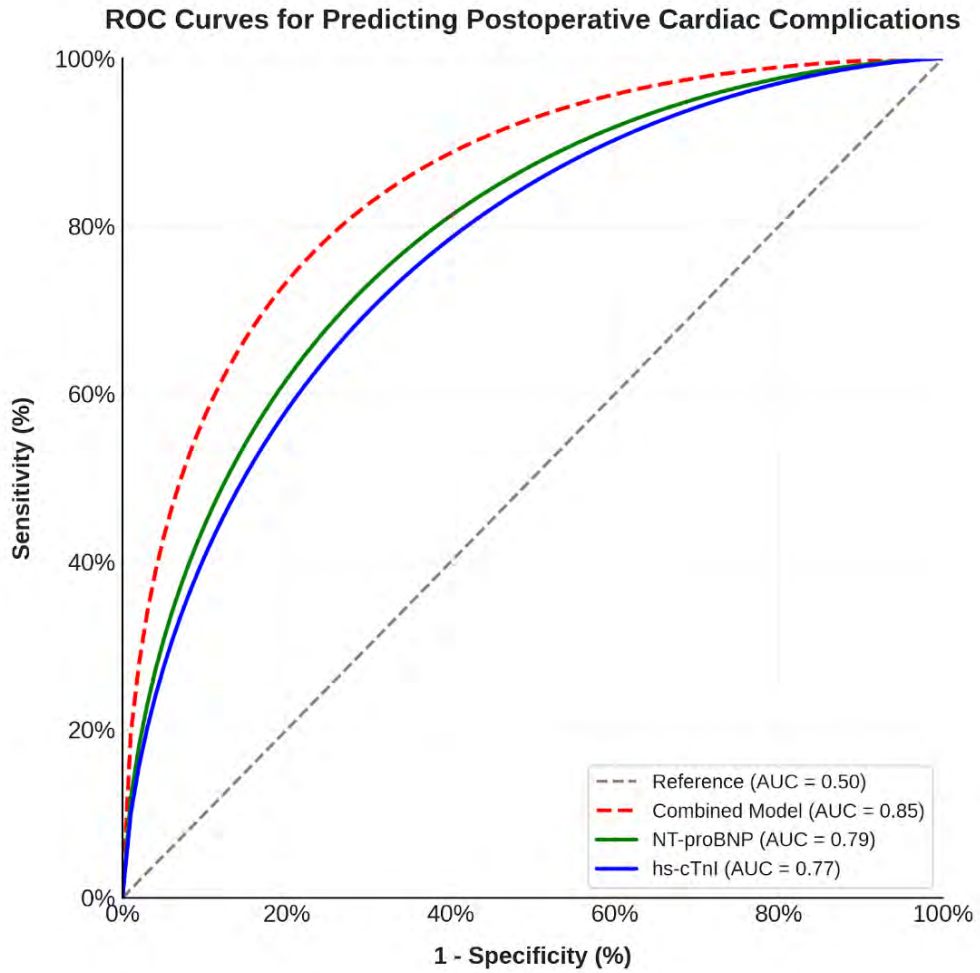


Figure 1. ROC curve diagram.

Table 5 – ROC analysis results and optimal cut-off values

Model	AUC	95% CI	Sensitivity	Specificity	Optimal cut-off	Youden index
NT-proBNP	0.79	0.71 – 0.87	85%	68%	> 980 pg/mL	0.53
hs-cTnI	0.77	0.68 – 0.85	72%	81%	> 1.45 ng/mL	0.53
Combined model	0.85	0.78 – 0.92	88%	76%	—	0.64
Comparison (DeLong method)	p=0.04 (NT-proBNP vs. Combined)					

As shown in the table, the AUC of the combined model was statistically significantly higher than that of NT-proBNP alone (p=0.04). The correlation between NT-proBNP and hs-cTnI was moderate (Spearman's r=0.48; p<0.001), indicating their relative independence.

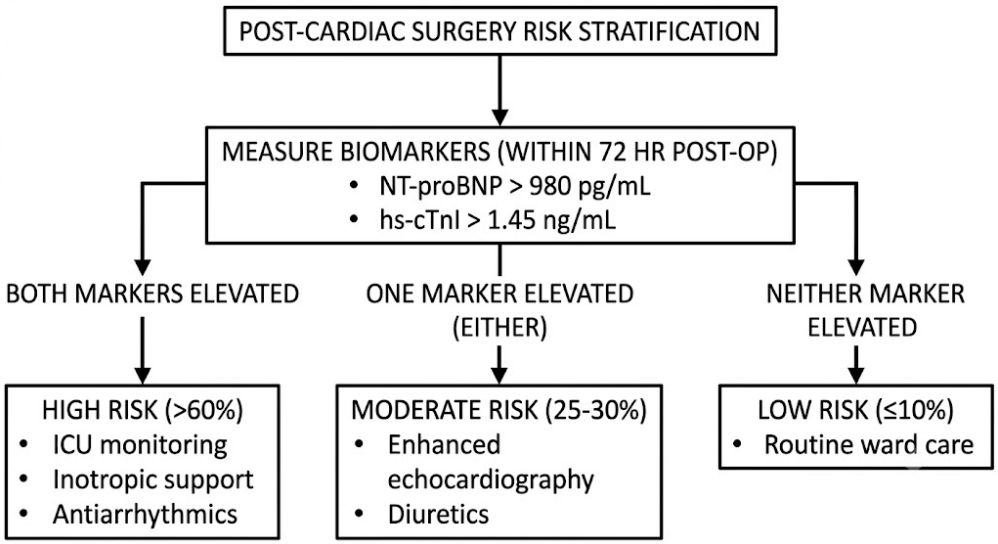


Figure 2. Risk stratification scheme.

Discussion. Our study demonstrated that early postoperative levels of NT-proBNP and hs-cTnI are independent and strong predictors of 30-day major complications after cardiac surgery. The most important finding is that combining the two markers significantly improves predictive accuracy, achieving an AUC of 0.85, which confirms that they reflect different pathophysiological mechanisms. Clinical significance: The proposed algorithm allows clinicians, as early as within 72 hours after surgery, to stratify patients into risk categories and establish appropriate management pathways. Early transfer of high-risk patients to the cardiac intensive care unit and initiation of aggressive infusion therapy may improve survival outcomes.

Conclusion. Elevated NT-proBNP and hs-cTnI levels within the first 30 days after surgery are independent and clinically significant early diagnostic indicators of cardiac complications within the 30-day postoperative period. As the study results show, NT-proBNP achieves high sensitivity (up to 85%), making it suitable as a primary screening marker, while hs-cTnI demonstrates high specificity (up to 81%), allowing its use as a confirmatory marker to achieve complete diagnostic confidence.

Keywords: NT-proBNP, troponin I, cardiology, cardiac surgery, postoperative complications, predictive model, ROC analysis.

References

1. Zhao BC, Lei SH, Zhuang PP, et al. Preoperative N-terminal Pro–B-type Natriuretic Peptide and High-sensitivity Cardiac Troponin T and Outcomes after Major Noncardiac Surgery: A Prospective Cohort Study. Anesthesiology. 2024;141(3):475-488.
2. Schmidt G, Frieling N, Schneck E, et al. Preoperative routine measurement of NT-proBNP predicts postoperative morbidity after non-cardiac surgery with intermediate or high surgical risk: an observational study. BMC Anesthesiol. 2024;24(1):117.

3. Somuncu MU, Aslan G, Erturk M, et al. Relationship between sST2 and NT-proBNP levels and postoperative atrial fibrillation in patients having non-cardiac surgery. Minerva Cardiol Angiol. 2024 Nov 12. doi: 10.23736/S2724-5683.24.06649-3.
4. Thio MSY, Noordzij PG, Klingenberg JH, et al. The prognostic value of postoperative cardiac troponin I and T for major adverse cardiac events after coronary artery bypass grafting: a systematic review. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2025;15:100484.
5. Aakre EK, Aakre KM, Flaatten H, et al. High-Sensitivity Cardiac Troponin T and Frailty Predict Short-Term Mortality in Patients ≥75 Years Undergoing Emergency Abdominal Surgery: A Prospective Observational Study. Anesth Analg. 2024;139(1):109-118.
6. Ebadi R, Nozari Y, Pashang M, et al. Prognostic Value of Cardiac Biomarkers in Patients Undergoing On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting: A Cohort Study in an Iranian Population. Iranian Heart Journal. 2025;26(1):45-55.
7. Wang Y, Li X, Zhang H, et al. Combining cardiac and renal biomarkers to establish a clinical early prediction model for cardiac surgery-associated acute kidney injury: a prospective observational study. J Thorac Dis. 2024;16(12):8399-8416.
8. Zhang L, Chen Y, Liu J, et al. Predictive value of NT-proBNP and hs-TnT for outcomes after pediatric congenital cardiac surgery. Int J Surg. 2024;110(6):3365-3372.
9. Halvorsen S, Mehilli J, Cassese S, et al. 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery. Eur Heart J. 2022;43(39):3826-3924.
10. Writing Committee, Fleisher LA, Rosenbaum SH, et al. 2024 AHA/ACC/ACS/ASNC/SCAI/SCCT Guideline for the Perioperative Cardiovascular Management of Patients Undergoing Noncardiac Surgery. Circulation. 2024;150(16):e351-e442.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.023.257-262

CONCORDANCE AND GAPS IN THE MANAGEMENT OF BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA-ASSOCIATED MALE LOWER URINARY TRACT SYMPTOMS: A STRUCTURED COMPARISON OF THE KAZAKHSTAN CLINICAL PROTOCOL WITH THE EAU AND AUA 2026

Makhmutov Abdukaim Nurshatovich
7th Year internship student
Department of General Medicine
Kazakh Medical University, Almaty. Kazakhstan

ABSTRACT

Benign prostatic hyperplasia (BPH), prostate enlargement, benign prostatic obstruction, and male lower urinary tract symptoms (LUTS) are related but non-equivalent concepts. This study compared the Kazakhstan clinical protocol for BPH

with the 2026 guidelines of the European Association of Urology (EAU) and American Urological Association (AUA). A structured document analysis covered terminology, diagnostic assessment, conservative management, pharmacological treatment, surgery, and follow-up. Recommendations were classified as fully concordant, partially concordant, discordant, absent from the Kazakhstan protocol, or not directly comparable. Broad agreement was identified for symptom assessment, physical examination, urinalysis, selective prostate-specific antigen testing, α1-blockers, 5α-reductase inhibitors, tadalafil, combination therapy, conventional surgical indications, and transurethral resection of the prostate. Important gaps concerned symptom-centred terminology, shared decision-making, safety counselling, follow-up, and coverage of contemporary minimally invasive procedures. The publicly available Kazakhstan protocol also contained internally inconsistent medication doses requiring verification. Future revision should strengthen terminology, editorial control, patient-centred decision-making, and evidence-based assessment of modern procedures.

Keywords: benign prostatic hyperplasia; lower urinary tract symptoms; clinical guideline; Kazakhstan; EAU; AUA.

INTRODUCTION

BPH is an age-associated histological process involving stromal and epithelial proliferation. It does not necessarily cause prostate enlargement, obstruction, or symptoms. Male LUTS may originate from the prostate, bladder, urethra, nervous system, medication use, or altered urine production [1, 5, 7]. Therefore, BPH, benign prostate enlargement, benign prostatic obstruction, and LUTS should not be treated as interchangeable terms.

The global burden of BPH has increased with population growth and ageing [6]. However, open Kazakhstan statistics commonly combine BPH with other prostate diseases, limiting valid prevalence estimates. A Kazakhstan prostate-cancer screening programme included 321,548 men aged 50–66 years, but its cancer-oriented pathway cannot provide a population prevalence estimate for symptomatic BPH [10].

The Kazakhstan clinical protocol was revised in 2023 and approved on May 17, 2024, under Protocol No. 205 [11]. In 2026, the EAU updated its guideline on non-neurogenic male LUTS, while the AUA issued a new three-part guideline on evaluation, medical management, and procedural treatment [5, 7–9]. Comparing these documents can identify national strengths and areas requiring revision. It does not measure physician adherence or clinical outcomes.

Aim of the study: The study aimed to assess concordance between the Kazakhstan BPH protocol and the EAU and AUA 2026 guidelines and to identify important gaps in diagnosis, conservative care, pharmacological therapy, surgery, and follow-up.

MATERIALS AND METHODS

A structured comparative guideline analysis was conducted. The included documents were the Kazakhstan clinical protocol on BPH [11], the EAU 2026 guideline [5], and the AUA 2026 guideline Parts I–III [7–9]. Recommendations

concerning prostate cancer, neurogenic bladder, urethral stricture, and unrelated incontinence were excluded unless needed for differential diagnosis.

The analysis covered five domains: terminology and scope; diagnostic assessment; conservative management; pharmacological treatment; and procedural or surgical management. Recommendations were classified as fully concordant, partially concordant, discordant, absent from the Kazakhstan protocol, or not directly comparable. No weighted concordance index was calculated because arbitrary scoring could create false precision.

AGREE II, RIGHT, and GRADE Evidence-to-Decision informed assessment of scope, reporting, evidence use, applicability, benefits, harms, feasibility, and patient preferences [2–4]. A formal AGREE II score was not produced because such scoring normally requires several independent reviewers.

RESULTS

Terminology and Clinical Scope

The Kazakhstan protocol remained disease-centred and linked BPH to prostate growth, urethral compression, and bladder outlet obstruction [11]. The EAU used a symptom-centred framework and distinguished histological BPH from benign prostatic obstruction and male LUTS [5]. The AUA retained the term LUTS/BPH but recognised several non-prostatic causes [7]. This difference is clinically relevant. A prostate-centred model may encourage attribution of all urinary complaints to enlargement, whereas a symptom-centred model prioritises differential diagnosis. Nevertheless, the Kazakhstan protocol correctly stated that enlargement without severe symptoms is not itself an indication for surgery [11], consistent with international guidance [5, 9].

Diagnostic Assessment

All three systems broadly agreed on medical history, standardised symptom assessment, physical examination, digital rectal examination, urinalysis, and exclusion of alternative causes [5, 7, 11]. They recognised the International Prostate Symptom Score as a principal measure of symptom severity.

Uroflowmetry and post-void residual measurement were accepted as useful objective tests, but reduced flow was not treated as definitive proof of obstruction. The EAU and AUA more clearly separated routine evaluation from pre-intervention testing [5, 7]. Prostate imaging was recommended when it could change treatment selection, especially before surgery.

Cystoscopy and urodynamic testing were reserved for selected patients, including those with haematuria, suspected urethral disease, anatomical uncertainty, or possible detrusor underactivity [5, 7, 11]. PSA testing was also selective. The international guidelines placed greater emphasis on whether the result would change management and on discussion with the patient [5, 7].

4.3. Conservative and Pharmacological Management

Observation and behavioural modification were recommended for men with mild or non-bothersome symptoms and no complications [5, 7, 11]. The Kazakhstan protocol provided practical advice on fluid intake, caffeine and alcohol reduction, double voiding, bladder training, medication review, and constipation [11]. The EAU

and AUA placed stronger emphasis on shared decision-making, including sexual function, treatment burden, expected benefit, and retreatment risk [5, 7–9].

Broad concordance was found for α1-blockers, 5α-reductase inhibitors, tadalafil, antimuscarinic medicines, β3-agonists, and combination therapy [5, 8, 11]. α1-blockers were recommended for bothersome moderate-to-severe symptoms. Finasteride or dutasteride was reserved for patients with enlargement or increased progression risk. Combination therapy was supported when both symptom burden and progression risk were clinically important.

Differences mainly concerned safety detail. The EAU provided a residual-urine threshold for combined α1-blocker and antimuscarinic treatment [5]. The AUA and EAU also gave more explicit counselling on hypotension, falls, ejaculatory dysfunction, intraoperative floppy iris syndrome, delayed effects, and sexual adverse events [5, 8].

The public Kazakhstan protocol contained apparent dose inconsistencies. Its explanatory text reported conventional doses for silodosin, dutasteride, and finasteride, while later medication lists included conflicting values [11]. These may be editorial errors, but they require verification against the signed official document.

Procedural Treatment and Follow-up

The three systems broadly agreed that surgery is appropriate for recurrent urinary retention, infection or haematuria, bladder stones, renal or upper urinary tract consequences, severe obstruction, or failure of conservative and medical treatment [5, 9, 11]. TURP remained a central option, particularly for prostates of approximately 30–80 mL [5, 9, 11].

The largest gap concerned procedural breadth. The Kazakhstan protocol focused mainly on TURP, adenomectomy, vaporisation, and established techniques [11]. The EAU and AUA discussed a wider range of interventions, including laser enucleation, Aquablation, prostatic urethral lift, water-vapour thermal therapy, temporary implanted devices, prostatic artery embolisation, and minimally invasive or robotic approaches [5, 9]. They also provided more detailed counselling on durability, retreatment, sexual outcomes, anaesthesia, implants, and future imaging.

This does not mean that every new technology should be adopted nationally. Decisions should consider evidence quality, training, equipment, cost, feasibility, equity, and monitoring capacity [2]. The main gap is the absence of a national framework identifying procedures as standard, restricted to expert centres, conditionally recommended, or unsuitable for current implementation.

All documents recognised follow-up, but international recommendations were more treatment-specific [5, 8, 9]. The Kazakhstan protocol would benefit from clearer intervals, response criteria, adverse-event monitoring, and indications for escalation.

DISCUSSION

The Kazakhstan protocol is broadly concordant with international guidance on core assessment, conservative treatment, established drug classes, conventional surgical indications, and TURP. Its practical behavioural recommendations and recognition that prostate size alone does not mandate surgery are notable strengths [11].

The main weaknesses are conceptual and methodological. Future revision should distinguish BPH, enlargement, obstruction, and LUTS; organise decisions around symptom cause and patient priorities; link recommendations to evidence strength; expand safety counselling; and improve treatment-specific follow-up. Dose inconsistencies in the public version should be formally checked. The protocol also requires a transparent process for evaluating newer procedures. International inclusion alone is insufficient. Adaptation to Kazakhstan should consider feasibility, infrastructure, affordability, workforce, and expected benefit [2]. AGREE II and RIGHT can support clearer reporting of evidence searches, stakeholder participation, conflicts of interest, applicability, and updating procedures [3, 4]. This study analysed documents rather than clinical practice and cannot establish physician adherence, medicine availability, procedure volumes, costs, or outcomes. A single analytical team conducted the comparison, and no formal inter-rater reliability or complete AGREE II score was calculated. The public protocol may also differ from its signed authoritative version.

CONCLUSION

The Kazakhstan protocol provides a useful basis for managing BPH-associated male LUTS and is broadly aligned with the EAU and AUA 2026 guidelines. The most important gaps concern symptom-centred terminology, shared decision-making, medication safety, treatment-specific follow-up, editorial consistency, and structured evaluation of contemporary procedures. Future revision should preserve the protocol's practical strengths while adopting clearer terminology, stronger quality control, explicit evidence grading, and a nationally feasible framework for modern interventions.

References

1. Abrams, P., Cardozo, L., Fall, M., Griffiths, D., Rosier, P., Ulmsten, U., van Kerrebroeck, P., Victor, A., & Wein, A. (2002). The standardisation of terminology of lower urinary tract function: Report from the Standardisation Sub-committee of the International Continence Society. Neurourology and Urodynamics, 21(2), 167–178. https://doi.org/10.1002/nau.10052
2. Alonso-Coello, P., Oxman, A. D., Moberg, J., Brignardello-Petersen, R., Akl, E. A., Davoli, M., Treweek, S., Mustafa, R. A., Vandvik, P. O., Meerpohl, J., Guyatt, G. H., & Schünemann, H. J. (2016). GRADE Evidence to Decision frameworks: A systematic and transparent approach to making well-informed healthcare choices. 2: Clinical practice guidelines. BMJ, 353, i2089. https://doi.org/10.1136/bmj.i2089
3. Brouwers, M. C., Kho, M. E., Browman, G. P., Burgers, J. S., Cluzeau, F., Feder, G., Fervers, B., Graham, I. D., Grimshaw, J., Hanna, S. E., Littlejohns, P., Makarski, J., & Zitzelsberger, L. (2010). AGREE II: Advancing guideline development, reporting and evaluation in health care. CMAJ, 182(18), E839–E842. https://doi.org/10.1503/cmaj.090449
4. Chen, Y., Yang, K., Marušic, A., Qaseem, A., Meerpohl, J. J., Flottorp, S., Akl, E. A., Schünemann, H. J., Chan, E. S. Y., Falck-Ytter, Y., Ahmed, F., Barber, S., Chen,

C., Zhang, M., Xu, B., Tian, J., Song, F., Shang, H., Tang, K., Wang, Q., & Norris, S. L. (2017). A reporting tool for practice guidelines in health care: The RIGHT statement. Annals of Internal Medicine, 166(2), 128–132. https://doi.org/10.7326/M16-1565

5. European Association of Urology. (2026). EAU guidelines on the management of non-neurogenic male lower urinary tract symptoms. EAU Guidelines Office.

6. GBD 2019 Benign Prostatic Hyperplasia Collaborators. (2022). The global, regional, and national burden of benign prostatic hyperplasia in 204 countries and territories from 2000 to 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet Healthy Longevity, 3(11), e754–e776. https://doi.org/10.1016/S2666-7568(22)00213-6

7. Goueli, R., Badlani, G. H., Welliver, C., Anderson, P. D., Bauer, S. R., Dana, T., Donalisio da Silva, R., Holmes, R., Kim, S. K., Kirkby, E., Gill, B. C., Maislos, S., McClure, T., Miller, N. L., Roshan, I., Summers, S. J., Totten, A., & Sandhu, J. S. (2026a). Management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia: AUA guideline (2026) Part I: Presentation and evaluation. The Journal of Urology, 216(2), 143–151. https://doi.org/10.1097/JU.0000000000005097

8. Goueli, R., Badlani, G. H., Welliver, C., Anderson, P. D., Bauer, S. R., Dana, T., Donalisio da Silva, R., Holmes, R., Kim, S. K., Kirkby, E., Gill, B. C., Maislos, S., McClure, T., Miller, N. L., Roshan, I., Summers, S. J., Totten, A., & Sandhu, J. S. (2026b). Management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia: AUA guideline (2026) Part II: Medical management. The Journal of Urology, 216(2), 152–160. https://doi.org/10.1097/JU.0000000000005098

9. Goueli, R., Badlani, G. H., Welliver, C., Anderson, P. D., Bauer, S. R., Dana, T., Donalisio da Silva, R., Holmes, R., Kim, S. K., Kirkby, E., Gill, B. C., Maislos, S., McClure, T., Miller, N. L., Roshan, I., Summers, S. J., Totten, A., & Sandhu, J. S. (2026c). Management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia: AUA guideline (2026) Part III: Procedural/surgical management. The Journal of Urology, 216(2), 161–170. https://doi.org/10.1097/JU.0000000000005099

10. Ishkinin, Y., Zhylkaidarova, A., Nurgaliyev, N., Auyezova, E., Oshibayeva, A., & Gorbunova, N. (2017). Population-based prostate cancer screening in Kazakhstan. Iranian Journal of Public Health, 46(7), 917–922.

11. Joint Commission on the Quality of Medical Services of the Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan. (2024). Доброкачественная гиперплазия предстательной железы [Benign prostatic hyperplasia] (Clinical Protocol No. 205; 2023 revision, approved May 17, 2024). Ministry of Healthcare of the Republic of Kazakhstan.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.024.263-269

CENTRAL APPETITE SUPPRESSION DURING SEMAGLUTIDE THERAPY AS A DETERMINANT OF DURABLE METABOLIC CONTROL IN TYPE 2 DIABETES AND OBESITY: A MECHANISM-INFORMED RAPID EVIDENCE SYNTHESIS

Mukhtarova Aigerim Yerkinkyzy
7th Year intern
Astana Medical University
Astana, Kazakhstan
Meruert Salimzhankyzy Aidynova
6th year intern
Karaganda Medical University
Karaganda, Kazakhstan
Zhannet Zharylkasynovna Baikhanova
6th year intern
Sh. Ualikhanov Kokshetau University
Kokshetau, Kazakhstan
Arailym Zhumakhankyzy Sagymbekova
7th year intern
Astana Medical University
Astana, Kazakhstan

ABSTRACT

Semaglutide has beneficial effects on glycaemic control and produces clinically meaningful weight loss in people with type 2 diabetes and obesity, in part by central appetite suppression effects. The effects of GLP-1 receptor activation on hypothalamic, brainstem and reward-related neural circuits and its potential role in long-term metabolic regulation were explored. Mechanism oriented rapid review and comparative analyses of RCTs were performed, along with extension studies and relevant neurobiological research. The results suggest that semaglutide decreases hunger, food craving and energy intake, but enhances satiety and eating behavior control. Clinical trials also show that after continuous therapy, body weight and glycated haemoglobin levels are reduced over time. But significant weight gain following withdrawal of the medication indicates that the central anorexigenic effects are primarily sustained during drug treatment. It is important to consider semaglutide as a long-term treatment option for achieving and maintaining durable metabolic control, and not as a treatment that has been shown to facilitate medication-free diabetes remission. While additional research is required to identify which individuals will maintain these effects following the completion of semaglutide treatment, central

control of appetite seems to be a crucial pathway between treatment, weight loss and metabolic improvement.

Keywords: semaglutide; GLP-1 receptor agonist; appetite; obesity; type 2 diabetes; weight regain; metabolic remission

Introduction

Obesity and type two diabetes are interacting chronic conditions that are characterized by a vicious cycle of excess adiposity, insulin resistance, dysregulated eating behaviour and progressive beta-cell stress. To date, the World Health Organization has reported over twice the number of adult obesity cases in 2022 compared with 1990, and in 2024, the International Diabetes Federation estimated that there are 589 million adults aged 20–79 years with diabetes [1,2]. The trends emphasize the need for continued weight loss as a clinically significant phenomenon, and also put pressure on the use of the term remission prior to the full criteria for remission.

It is important for semaglutide. According to the 2021 consensus, remission is when the HbA1c is below 6.5% for at least three months after the termination of glucose-lowering pharmacotherapy [3]. According to this definition, a low HbA1c during treatment with semaglutide is a sign of treatment success and not remission. The present article thus focuses the original topic on the more testable question of the extent to which central appetite suppression accounts for durable metabolic control during semaglutide therapy in adults with type 2 diabetes and obesity and whether this effect endures after discontinuing treatment.

DATA SOURCES AND ANALYTICAL FRAMEWORK

The evidence relevant to this question is not in the form of independent effect estimates, but a causal chain, so the mechanism-informed rapid evidence synthesis (RESY) approach was selected. Neural-circuit experiments determine where semaglutide works, controlled feeding experiments assess appetite-related behaviour, phase 3 experiments demonstrate weight and glycaemic outcomes, and withdrawal experiments test durability. These endpoints are not suitable for pooling. A search was conducted in PubMed/MEDLINE, PubMed Central, ClinicalTrials.gov, WHO and IDF resources, and the pages of the journal publishers from their inception. The following search concepts were used: “semaglutide” AND “appetite”, “energy intake”, “brain”, “area postrema”, “nucleus tractus solitarius”, “hypothalamus”, “STEP 2”, “maintenance”, “withdrawal”, “weight regain” and “diabetes remission”.

Original mechanistic studies, randomized or controlled human studies, phase 3 trials, consensus definitions and official epidemiological reports were eligible sources. Other GLP-1 receptor agonists were not used for the numerical synthesis, but for the screening of context. The outcomes extracted were study population, dose, duration, energy intake, appetite measurements, body-weight change, HbA1c change and post-withdrawal change. Calculations were made using published aggregate data: absolute risk difference (ARD) = event proportion with semaglutide – event proportion with placebo; number needed to treat (NNT) = 1/ARD (rounded upwards); absolute risk increase (ARI) = event proportion with placebo – event proportion with semaglutide;

number needed to harm (NNH) = 1/ARI (rounded down); withdrawal regain fraction (WRF) = weight regained after withdrawal/weight lost before withdrawal.

RESULT

There is no requirement for unrestricted access to the blood–brain barrier to affect feeding by semaglutide. In rodents, the direct access of fluorescent and functional mapping reached circumventricular and ventricular-adjacent regions like the area postrema, where the downstream activation spread through the nucleus tractus solitarius, lateral parabrachial nucleus, hypothalamic nuclei and septal areas [4]. The drug led to a decrease in food intake and preference for energy-dense food, but not accompanied by a compensatory decrease in energy expenditure. This pattern underlies a network of distributed satiety centers instead of one “appetite centre”.

Later on, in the aftermath of the causal experiments, the pathway was tweaked. In mice, Teixidor-Deulofeu et al. found that neurons that express Adcyap1 are required for the anorexia and fat preference seen after administration of semaglutide [5]. Ablation or manipulation of these cells reduced the feeding and weight effects, whilst circuit tracing connected them to downstream areas that are associated with satiety. These findings provide further support for the biological plausibility, though the findings in genetically manipulated mice do not fully translate to the patient.

Behavioural confirmation is given by human controlled-feeding studies. The treatment with semaglutide 1.0 mg achieved a 24% decrease in total ad libitum energy intake at lunch, evening meal and snack, an increase in control of eating, a decrease in hunger and craving, and a decrease in the preference for high-fat foods in a 12-week crossover trial in 30 adults with obesity [6]. A 20-week parallel trial involving 72 obese adults showed that semaglutide 2.4 mg led to a 35% reduction in ad libitum lunch intake (1,736 vs. 2,676 kJ) and increased feelings of fullness and satiety and reduced cravings [7]. In the second trial, there was no evidence of delayed gastric emptying at week 20, when body weight was taken into account. Therefore, chronic suppression of appetite is not necessarily related to chronic deceleration of gastric emptying alone, but also to central and learned behavioural effects. The 24–35% interval is an observed range as the two trials measured different meals, doses and durations.

QUANTITATIVE CLINICAL TRANSLATION

The most direct phase 3 evidence is from the target population in STEP 2. In adults with overweight or obesity who also have type 2 diabetes, semaglutide 2.4 mg resulted in a mean weight loss of −9.6% at 68 weeks, which was significantly greater than placebo (−3.4%), a difference of 6.2 percentage points ($P<0.001$) [8]. 68.8% of those who achieved at least 5 weight loss compared to 28.5%. The absolute benefit derived was thus 0.688 - 0.285, or 40.3%, and the NNT was 2.48, which is usually rounded to three. Compared to the placebo, mean HbA1c was decreased by 1.2 percentage points (or −1.6% versus −0.4%). The results of this study align with the proposed chain of events: decreased hunger and reward-driven eating decreases energy intake, which in turn enhances insulin sensitivity and leads to further improvement in glycaemia through direct GLP-1 receptor effects.

But STEP 2 did not evaluate whether or not semaglutide remission occurred. The glycaemic outcome was assessed in the course of active glucose lowering therapy. Thus, anyone achieving an HbA1c below 6.5% cannot be considered to be in consensus-defined remission. The benefit of the numerical analysis is that it indicates high treatment efficiency, but does not imply cure or recovery without treatment.

Table 1. Evidence chain and independently derived quantitative indicators

Evidence layer	Source/population	Published observation	Analytical interpretation
Human appetite	Blundell, n=30; Friedrichsen, n=72	24% lower total-day intake; 35% lower lunch intake	Observed range 24–35%; not pooled because endpoints differ
T2D + obesity	STEP 2, 68 weeks	≥5% loss: 68.8% vs 28.5%; HbA1c −1.6% vs −0.4%	Risk difference 40.3 points; NNT=2.48 → 3; HbA1c difference 1.2 points
Continuation	STEP 4 and STEP 5	−7.9% vs +6.9% after randomization; −15.2% at 104 weeks	Continuation–withdrawal divergence 14.8 points; on-treatment effect remains durable
Withdrawal	STEP 1 extension	17.3% lost; 11.6 points regained; 5.6% net loss retained	Regain fraction 67.1%; retention fraction 32.4%

Note: percentage-point calculations use published aggregate estimates. NNT was rounded upward. Appetite estimates were deliberately not averaged.

DURABILITY: CONTINUATION VERSUS WITHDRAWAL

Longer and withdrawal designs show whether appetite related benefits are self sustaining. In STEP 4, the participants experienced a 10.6% loss in the 20-week semaglutide run-in. This treatment–withdrawal difference was 14.8 percentage points (9) in favor of the treatment group (continuation on semaglutide) from week 20 to week 68. In STEP 5, the mean loss amounted to 15.2% with continued treatment with semaglutide compared with 2.6% with placebo, a difference of 12.6 percentage points estimated [10]. Two years later, the control-of-eating measures from this same programme demonstrated continued improvements in craving control and resistance to foods that are salient, with some craving domains linked to weight loss [11].

The most obvious test following discontinuation of the STEP 1 extension is the color change in the pH indicator. The weight loss achieved by participants in the semaglutide extension subset was 17.3% at week 68. In the next year without study drug, they returned to a 11.6% gain, and maintained a net loss of 5.6% from baseline [12]. The calculated regain fraction was 11.6/17.3 = 67.1%, while the retained fraction was 5.6/17.3 = 32.4%. There was also a shift toward baseline of the cardiometabolic variables. The results indicate that the average person's drive to eat and regain weight

resurges when the stimulating of these receptors is stopped, but they do not imply that everyone gets "the munchies" after the stimulation is removed.

The combination of continuation and withdrawal studies alters the definition of “long-term remission”. Withdrawal effects are short-lived, with the ability to maintain metabolic control for at least 2 years when treatment is continued. The central satiety signal seems to correct a chronic imbalance of regulation, but does not set it to normal.

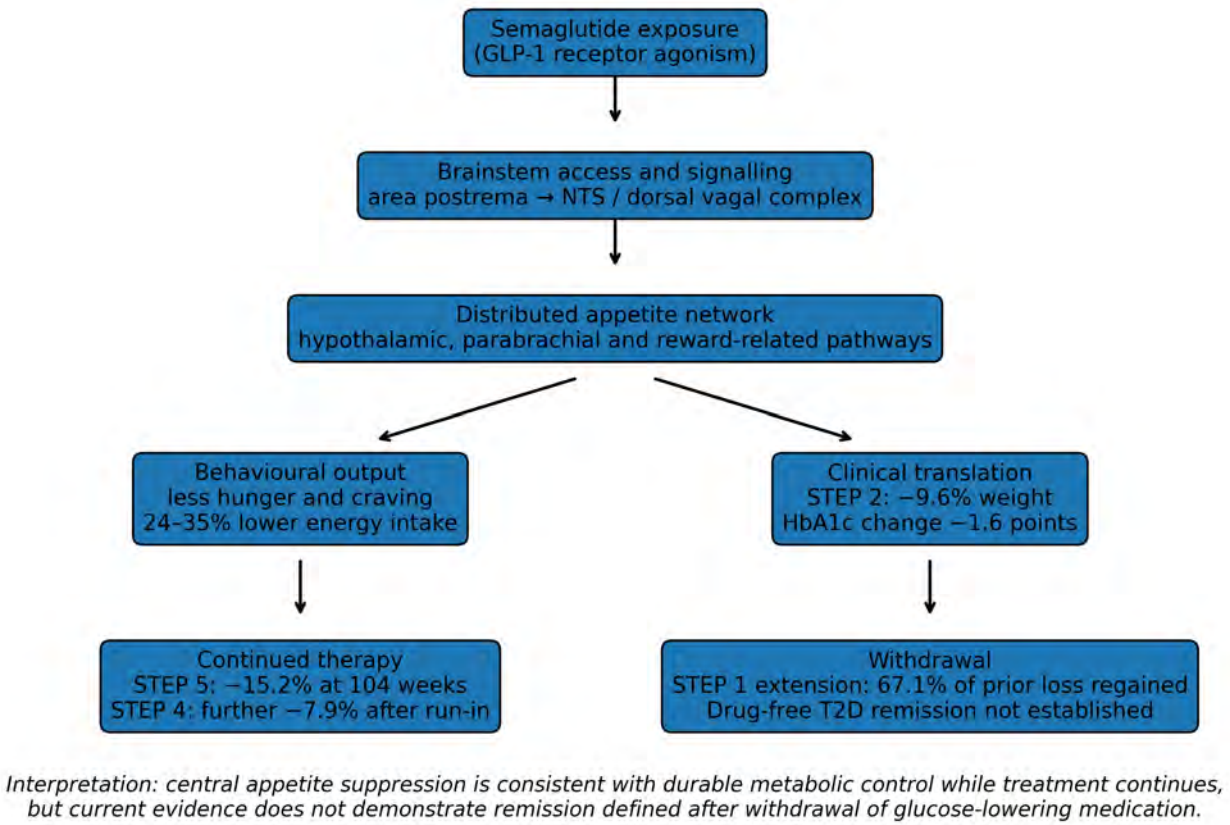


Figure 1. Mechanism-to-durability model derived from the included evidence
[Source: authors’ synthesis of references [3–12]. The diagram is analytical and was not copied from any source.]

PRACTICAL IMPLICATIONS AND LIMITATIONS

The evidence supports managing chronic diseases in the clinical practice context by setting expectations. It is important to keep in mind that appetite reduction is a therapeutic effect which can diminish after stopping, rather than a permanent loss of willpower. Nutrient adequacy, resistance training, maintenance of lean body mass, adverse effect monitoring and interruption/loss of access plans should be incorporated in long-term plans. For type 2 diabetes, the reading of HbA1c needs to be considered alongside other factors such as weight, medication burden and risk of hypoglycaemia; only use the word “remission” for a measurement taken after the patient has stopped taking glucose-lowering medication for the appropriate period.

The analytical framework also aids in the separation of treatment response from mechanism. Even if the subjective reduction in hunger is not large, significant

glycaemic improvements can be obtained through combined effects of food intake, body weight, insulin secretion and glucagon suppression. However, there is no guarantee that appetite suppression will be enduringly beneficial if there are adverse effects, cost or access barriers to continued treatment. Future studies should therefore assess the appetite, energy intake, persistence of medication and glycaemia simultaneously rather than body weight change as an overall proxy for central action. These designs could determine if early appetite responses predict 2-year metabolic outcomes, and identify which patients would continue to experience the appetite effect post-supervised dose reduction or removal.

There are some restrictions in this synthesis. There is limited direct human neuroimaging or causal mediation data regarding semaglutide, and data regarding appetite behaviour in humans has been incorporated to infer central mechanisms. The tests designed to test appetite were industry-sponsored, and small. Diabetes was excluded in STEP 4, STEP 5 and the STEP 1 extension, which only included direct transfer to the target population. The data are aggregate data that cannot be adjusted for diabetes duration, beta-cell reserve or concomitant drug use or individual adherence. The majority of the pivotal trials were sponsored by the manufacturer, and the rapid-search design was not a systematic review, using duplicate screening or formal risk-of-bias scoring. Last but not least, loss of weight following withdrawal is not the same as diabetes recurrence in all participants.

CONCLUSIONS

An appetite-reducing network centred on the brainstem, whose members interact with hypothalamic, parabrachial and reward-related pathways, is biologically coherent and is responsible for the appetite-suppressing activity of semaglutide.A biologically coherent network of brainstem structures, which interact with hypothalamic and parabrachial and reward pathways, is responsible for the appetite-suppressing activity of semaglutide. Controlled human studies have found reductions in ad libitum energy intake of 24-35% and clinically meaningful weight and HbA1C reductions in adults with type 2 diabetes and obesity have been observed with STEP 2, with an estimated NNT of ~3 for achieving weight loss of at least 5%. While continued treatment maintains weight loss and appetite, withdrawal is accompanied by a significant weight regain, averaging 67.1% of the weight lost in the first year. The best conclusion we can draw, then, is that there is a strong role for central appetite suppression in maintaining metabolic control long-term. There is not enough evidence to define this effect as long-term drug free metabolic remission. Prospective evaluations of HbA1c levels at least three months after semaglutide was discontinued and metabolic outcomes with more human-relevant neuroimaging and appetite measures should be evaluated in future trials.

References

1. World Health Organization. Obesity and overweight. WHO Fact Sheet. Updated 8 December 2025. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight.

2. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 11th ed. Brussels: International Diabetes Federation; 2025. Available at: https://diabetesatlas.org/resources/idf-diabetes-atlas-2025/.
3. Riddle MC, Cefalu WT, Evans PH, Gerstein HC, Nauck MA, Oh WK, et al. Consensus report: definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care. 2021;44(10):2438–2444. doi:10.2337/dci21-0034.
4. Gabery S, Salinas CG, Paulsen SJ, Ahnfelt-Rønne J, Alanentalo T, Baquero AF, et al. Semaglutide lowers body weight in rodents via distributed neural pathways. JCI Insight. 2020;5(6):e133429. doi:10.1172/jci.insight.133429.
5. Teixidor-Deulofeu J, Blid Sköldheden S, Font-Gironès F, Feješ A, Ruud J, Engström Ruud L. Semaglutide effects on energy balance are mediated by Adcyap1+ neurons in the dorsal vagal complex. Cell Metab. 2025;37(7):1530–1546.e6. doi:10.1016/j.cmet.2025.04.018.
6. Blundell J, Finlayson G, Axelsen M, Flint A, Gibbons C, Kvist T, Hjerpsted JB. Effects of once-weekly semaglutide on appetite, energy intake, control of eating, food preference and body weight in subjects with obesity. Diabetes Obes Metab. 2017;19(9):1242–1251. doi:10.1111/dom.12932.
7. Friedrichsen M, Breitschaft A, Tadayon S, Wizert A, Skovgaard D. The effect of semaglutide 2.4 mg once weekly on energy intake, appetite, control of eating, and gastric emptying in adults with obesity. Diabetes Obes Metab. 2021;23(3):754–762. doi:10.1111/dom.14280.
8. Davies M, Færch L, Jeppesen OK, Pakseresht A, Pedersen SD, Perreault L, et al. Semaglutide 2.4 mg once a week in adults with overweight or obesity, and type 2 diabetes (STEP 2): a randomised, double-blind, double-dummy, placebo-controlled, phase 3 trial. Lancet. 2021;397(10278):971–984. doi:10.1016/S0140-6736(21)00213-0.
9. Rubino D, Abrahamsson N, Davies M, Hesse D, Greenway FL, Jensen C, et al. Effect of continued weekly subcutaneous semaglutide vs placebo on weight loss maintenance in adults with overweight or obesity: the STEP 4 randomized clinical trial. JAMA. 2021;325(14):1414–1425. doi:10.1001/jama.2021.3224.
10. Garvey WT, Batterham RL, Bhatta M, Buscemi S, Christensen LN, Frias JP, et al. Two-year effects of semaglutide in adults with overweight or obesity: the STEP 5 trial. Nat Med. 2022;28(10):2083–2091. doi:10.1038/s41591-022-02026-4.
11. Wharton S, Batterham RL, Bhatta M, Buscemi S, Christensen LN, Frias JP, et al. Two-year effect of semaglutide 2.4 mg on control of eating in adults with overweight/obesity: STEP 5. Obesity (Silver Spring). 2023;31(3):703–715. doi:10.1002/oby.23673.
12. Wilding JPH, Batterham RL, Davies M, Van Gaal LF, Kandler K, Konakli K, et al. Weight regain and cardiometabolic effects after withdrawal of semaglutide: the STEP 1 trial extension. Diabetes Obes Metab. 2022;24(8):1553–1564. doi:10.1111/dom.14725.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.025.270-272

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OBSTETRIC RADIOLOGY IMPROVING PRENATAL DIAGNOSIS

Mukanbet Laila
7th Year internship student
Department of General Medicine
Medical University, Kazakhstan

Abstract

Radiological imaging plays a crucial role in modern obstetrics. It enables the timely assessment of maternal and fetal health and facilitates the early detection of potential pregnancy complications. This article reviews the current imaging modalities used in obstetrics, including ultrasound, Doppler ultrasonography, and magnetic resonance imaging. Particular attention is given to the application of artificial intelligence in prenatal diagnosis. The capabilities of artificial intelligence in medical image analysis, the detection of congenital anomalies, and the improvement of diagnostic accuracy are discussed. The review concludes that the integration of artificial intelligence into obstetric practice has significant potential to enhance the quality and efficiency of prenatal care.

Materials and methods

This review was based on a comprehensive analysis of recent scientific publications indexed in PubMed, Scopus, and Web of Science. Nine peer-reviewed review articles, clinical studies, and international guidelines published between 2022 and 2025 were selected. The literature search focused on studies investigating obstetric radiology, prenatal diagnosis, ultrasound imaging, Doppler ultrasonography, magnetic resonance imaging, artificial intelligence, fetal anomaly detection, and medical image analysis.

Keywords: obstetrics, radiological imaging, ultrasound, artificial intelligence, prenatal diagnosis, magnetic resonance imaging.

Introduction

Radiological imaging plays a vital role in modern obstetric care. It enables the timely assessment of maternal and fetal health, facilitates the early detection of pregnancy complications, and supports appropriate clinical decision-making throughout pregnancy. Advances in medical imaging technologies have significantly expanded the diagnostic capabilities of obstetrics and improved the quality of prenatal care. As a result, many pathological conditions can now be identified during the early stages of pregnancy, contributing to a reduction in maternal and perinatal morbidity [1,2].

Prenatal diagnosis is one of the most important fields of contemporary medicine. Its primary objective is the early detection of congenital malformations, chromosomal abnormalities, and other fetal disorders. Early diagnosis allows clinicians to determine the

most appropriate pregnancy management strategy, assess potential risks, and prepare for safe delivery. Furthermore, the early identification of fetal abnormalities enables healthcare professionals to organize specialized neonatal care immediately after birth [1,3].

Ultrasound examination is the most widely used imaging modality in obstetrics. It is highly informative, safe, and free from ionizing radiation. Ultrasound can be performed throughout pregnancy to evaluate fetal anatomy, estimate gestational age, perform fetal biometric measurements, assess placental location, determine the volume of amniotic fluid, and monitor fetal movements [4]. Doppler ultrasonography is an important complement to conventional ultrasound. It allows clinicians to assess blood flow in the uterine arteries, placenta, and umbilical cord, facilitating the early detection of placental insufficiency, fetal growth restriction, and other pregnancy complications [1,4].

When ultrasound findings are inconclusive, magnetic resonance imaging (MRI) serves as an additional diagnostic tool. MRI provides excellent soft tissue contrast and enables a more detailed evaluation of the fetal central nervous system, thoracic organs, and abdominal structures. It is particularly valuable in complex clinical cases, where additional anatomical information is required to establish an accurate diagnosis [5].

Despite significant advances in medical imaging, the diagnostic accuracy of ultrasound remains highly dependent on the operator's experience and expertise. Image quality may be affected by several factors, including fetal position, maternal obesity, multiple pregnancy, oligohydramnios, and other technical limitations. These factors may complicate image interpretation and contribute to variability in diagnostic findings among different examiners [3].

In recent years, increasing attention has been directed toward the integration of artificial intelligence into medical imaging. Modern AI algorithms can automatically analyze ultrasound images, identify fetal anatomical structures, perform biometric measurements, and detect signs of congenital abnormalities. The use of AI improves diagnostic accuracy, reduces operator dependence, and shortens examination time [2,6].

The application of artificial intelligence is particularly promising in regions where experienced ultrasound specialists are limited. AI-assisted systems help standardize imaging procedures and support clinicians in clinical decision-making. However, the widespread implementation of these technologies requires careful consideration of data security, clinical validation of AI algorithms, and appropriate regulatory frameworks [2,3].

In conclusion, advances in radiological imaging and artificial intelligence are creating new opportunities for improving prenatal diagnosis. Their combined application facilitates earlier detection of fetal abnormalities, enhances the quality of obstetric care, and improves pregnancy outcomes. Therefore, investigating the role of artificial intelligence in obstetric radiology remains an important and rapidly developing area of modern medical science and clinical practice [1,2].

Results and Discussion

The reviewed studies indicate that artificial intelligence (AI) is becoming an important tool in obstetric radiology. AI improves the accuracy of prenatal diagnosis by assisting in the analysis of ultrasound and MRI images. It can automatically identify fetal anatomical structures, perform biometric measurements, and detect congenital abnormalities.

Most studies report that AI reduces operator dependency, shortens examination time, and improves diagnostic consistency. It also supports the early detection of pregnancy complications, including fetal growth restriction and congenital anomalies.

Despite these advantages, the implementation of AI requires further clinical validation, high-quality datasets, and appropriate ethical and legal regulations. Overall, AI has significant potential to improve prenatal diagnosis and enhance the quality of obstetric care.

Conclusion

Artificial intelligence is becoming an integral part of modern obstetric radiology and is transforming the approach to prenatal diagnosis. The findings of this review demonstrate that AI-based technologies improve the analysis of ultrasound and magnetic resonance imaging, increase diagnostic accuracy, reduce operator dependency, and support the early detection of fetal abnormalities and pregnancy complications. These advantages contribute to more effective clinical decision-making and improved management of pregnancy.

At the same time, the successful implementation of artificial intelligence in clinical practice requires further validation through large-scale clinical studies, the development of standardized algorithms, and compliance with ethical, legal, and data security requirements. AI should be considered a supportive tool that complements, rather than replaces, the expertise of radiologists and obstetricians.

In conclusion, the integration of artificial intelligence into obstetric radiology has significant potential to improve the quality of prenatal diagnosis and maternal-fetal healthcare. Continued technological development and clinical research will further expand the role of AI in obstetric imaging and contribute to better pregnancy outcomes in the future.

References

5. Salomon L.J., Alfirevic Z., Da Silva Costa F., et al. ISUOG Practice Guidelines: Performance of the Routine Mid-Trimester Fetal Ultrasound Scan. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology. 2022.
6. Horgan R, et al. Artificial intelligence in obstetric ultrasound: A scoping review. Prenatal Diagnosis. 2023. Available at: Wiley – Prenatal Diagnosis
7. American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG). Qualifications for Performing and Interpreting Imaging Procedures in Obstetrics and Gynecology. 2023. Available at: ACOG Imaging Qualifications
8. American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG). Guidelines for Diagnostic Imaging During Pregnancy and Lactation. Available at: ACOG Diagnostic Imaging Guidelines
9. Prayer D, et al. ISUOG Practice Guidelines (updated): Performance of Fetal Magnetic Resonance Imaging. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology. 2023. Available at: ISUOG Fetal MRI Guidelines
10. Bouachba A, De Jesus Neves J, et al. Artificial intelligence, radiomics and fetal ultrasound: Review of literature and future perspectives. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology. 2025. Available at: Wiley – AI, Radiomics and Fetal Ultrasound

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.026.273-276

PREVALENCE AND TREATMENT METHODS OF ALLERGIC RHINITIS IN PREGNANT WOMEN

Turdybekkyzy Tolkyn
7th year intern
Saibekov Alibek Baktybayuly
7th year intern
Department of General Medicine
Kazakhstan Medical University
Almaty, Kazakhstan
Bissen Yerdaulet Zhanbolatuly
6th year intern
Department of General Medicine
West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University
Aktobe, Kazakhstan

ABSTRACT

Women of reproductive age are at increased risk of allergic rhinitis, and it can be clinically important during pregnancy. It is complicated to differentiate allergic rhinitis from pregnancy-induced rhinitis and concerns have been raised regarding exposure to medication. This study was conducted to assess the reported prevalence, clinical importance, and therapy of allergic rhinitis in pregnant women in the six publications by a focused descriptive analysis. Prevalence reported depends on the definition of a case. Treatment must begin with differential diagnosis, determination of severity and conservative treatment. After benefit–risk assessment selected intranasal corticosteroids and second-generation antihistamines can be considered when symptoms interfere with sleep, daily activities or asthma control. Rational management should not be related to unnecessary medication or to clinically significant under-treatment.

Keywords: allergic rhinitis, pregnancy, differential diagnosis, antihistamines, intranasal corticosteroids, medication safety

INTRODUCTION

Allergic rhinitis is an inflammatory disease of the nasal mucosa mediated by IgE, with symptoms of sneezing, nasal itching, watery rhinorrhoea, nasal obstruction and, in many patients, ocular symptoms. Symptoms may last long enough to interfere with sleep, reduce activity, cause fatigue, and exacerbate concurrent asthma. The clinical context is different when it comes to pregnancy, as treatment options require to take into account the gestational age, the previous response, system absorption, and the safety of the fetus. In the PreventADALL cohort, 23% of pregnant women reported being allergic to rhinitis, which was linked to increased odds of late pregnancy perceived stress [1]. This is not evidence of causation but suggests more general clinical implication.

Nasal obstruction during pregnancy doesn't necessarily mean allergic. Pregnancy-induced rhinitis is a non-allergic rhinitis which occurs during pregnancy and tends to clear up after birth. Other causes of rhinitis include infectious, non-allergic rhinitis (due to medication), and pre-existing non-allergic rhinitis. Misclassification can result in either over or under-treatment with drugs, or in the withdrawal of effective therapies. Selecting treatment should therefore be based on the most likely rhinitis phenotype, and this should be identified clinically [2, 3]. Dread of medication can also lead to self-medication with topical vasoconstrictors.

AIM AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The aim of the study was to evaluate the reported frequency and clinical significance of allergic rhinitis in pregnant women and to formulate a rational approach to diagnosis and treatment. The aims were to discuss the implications of the epidemiology studies, address the differences between allergic rhinitis and other rhinitis, review treatment, and look at safety data for cetirizine (22011) and intranasal corticosteroids (22050).

Six publications were selected and a descriptive and comparative study made of them. Comparisons were made by population, diagnosis, treatment, outcome and limitations. There was no attempt at statistical pooling due to the significant differences in design, purpose, and the measurement of outcome among the publications.

RESULTS OF THE STUDY AND THEIR DISCUSSION

The first clinical decision is to establish the probable cause of nasal symptoms. The allergic rhinitis is corroborated by symptoms prior to pregnancy, seasonal or allergen-related symptoms, nasal itching, frequent sneezing, watery discharge, and allergic conjunctivitis. If the predominant congestion starts during pregnancy with no definite cause, it is more suggestive of pregnancy-induced rhinitis. Fever, facial pressure, purulent secretion or an acute course may indicate infection or rhinosinusitis; if these symptoms persist, use of topical vasoconstrictors may indicate medication-induced rhinitis. The nasal mucosa, secretion, airflow and any evidence of sinus disease should be evaluated. Where there is doubt about the history, or confirmation will alter the management, use of serum allergen-specific IgE may be useful [3]. Treatment should start with diagnostic clarification and not with automatic prescription or automatic avoidance of medication.

The epidemiological results must also be interpreted with caution. PreventADALL found allergic rhinitis in 23% of the pregnant women [1]. In the Japan Environment and Children's Study, allergic history of the mother was assessed, and a mild link was observed between allergic rhinitis and threatened preterm labour [4]. But having a history of disease does not equal active allergic rhinitis in pregnancy. It is impossible to calculate one prevalence value because of differences in questionnaires, healthcare systems, environmental exposure, and case definitions. Allergic rhinitis has been found to be relevant in the everyday practice of obstetrics and otorhinolaryngology. As these are epidemiological associations, and not necessarily causal, they should be interpreted accordingly, because they are linked to stress and threatened preterm labour [1, 4]. Management should be done in a step-wise manner.

Early treatment includes patient education, minimizing exposure to known triggers, avoiding tobacco smoke and irritants, nasal saline irrigation, comfortable indoor humidity, and sleep positioning. Such measures might be appropriate for mild symptoms or rhinitis of pregnancy, but should not be offered as a universal alternative to anti-inflammatory treatment. If there is failure to clear up or continuing to wake at night, worsening of daily functioning, increased rhinorrhea, or worsening asthma control, then consider medication [2, 3].

Treatment can be determined by the predominant symptom. If the itching, sneezing, watery rhinorrhoea and eye symptoms are more prominent, then a second generation antihistamine should be considered. If the nasal blockage is most prominent and nasal inflammation is persistent, an intranasal corticosteroid is usually more effective. Intranasal corticosteroids are recommended for persistent allergic rhinitis, and budesonide has a good pregnancy safety record [2, 3]. The smallest effective amount of the medication should be administered. Use of oral decongestants is not recommended during the first trimester, and the use of topical vasoconstrictors for extended periods of time is not desirable since rebound congestion can exacerbate the underlying cause [2]. The wording used to describe medication safety needs to be careful. A total of 196 women with a history of first-trimester exposure to cetirizine were studied, along with 1,686 women who did not have such exposure. No significant rise was observed in major congenital abnormalities or spontaneous abortions or in preterm deliveries [5]. These results are encouraging but should not rule out all rare events. In other words, the medical finding was there was no increased risk, not that it was demonstrated to be absolutely safe.

Intranasal triamcinolone was not related to overall major congenital malformations, spontaneous abortion, or birth of an infant small for gestational age in a cohort of 289,723 pregnancies [6]. Association with defects in the respiratory system was noted following first trimester exposure, but was based on small numbers of exposed cases. Therefore this does not constitute a teratogenic risk, but remains a safety signal. It favors intranasal corticosteroid use when an effective alternative is available, and there is reassuring data regarding its use in pregnancy [3, 6].

The doctor should strive to avoid under-treatment or over-treatment. Undertreatment can cause poor sleep, fatigue, decrease in quality of life, ineffective asthma control and self-medication which leads to uncontrolled asthma. Overtreatment includes drug combinations where they are not warranted by the diagnosis, systemic treatment for mild local disease, excessive use of vasoconstrictors, or treatment without diagnosis of the type of rhinitis. There is no reason to discontinue pre-pregnancy therapy at the time of conception. The indications, doses, timing of pregnancy and the alternatives to it, as well as the risk of relapse, should be discussed on a case-by-case basis. Limitations of the evidence of safety and the potential for uncontrolled disease should be considered in shared decision-making.

CONCLUSIONS

Active allergic rhinitis is a common condition during pregnancy, but rates vary based on the type of allergic status measured (active symptoms vs. physician diagnosis

vs. lifetime history). The primary clinical challenge is differentiating allergic rhinitis from pregnancy induced rhinitis, infection, rhinosinusitis and medication induced congestion. Conservative therapy is suitable in the early stages particularly if the disease is mild, but if symptoms persist, pharmacotherapy may be required following individual benefit–risk assessment. There have been little benefits found with intranasal corticosteroids in persistent inflammation, and well-studied second-generation antihistamines can be used if systemic treatment is required. Existing studies on safety are generally reassuring, but cannot guarantee safety. Balancing the burden and efficacy of medications to optimize maternal respiratory health and quality of life, while minimising unnecessary and clinically harmful under- and over-treatment.

References

1. Olsson Mägi, C.-A., Bjerg Bäcklund, A., Lødrup Carlsen, K., et al. (2020). Allergic disease and risk of stress in pregnant women: A PreventADALL study. ERJ Open Research, 6(4), 00175-2020. https://doi.org/10.1183/23120541.00175-2020
2. Dykewicz, M. S., Wallace, D. V., Amrol, D. J., et al. (2020). Rhinitis 2020: A practice parameter update. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 146(4), 721–767. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.07.007
3. Gupta, K. K., & Anari, S. (2022). Medical management of rhinitis in pregnancy. Auris Nasus Larynx, 49(6), 905–911. https://doi.org/10.1016/j.anl.2022.01.014
4. Saito-Abe, M., Yamamoto-Hanada, K., Pak, K., et al. (2021). Association of maternal history of allergic features with preterm pregnancy outcomes in the Japan Environment and Children's Study. International Archives of Allergy and Immunology, 182(7), 650–662. https://doi.org/10.1159/000513749
5. Weber-Schoendorfer, C., & Schaefer, C. (2008). The safety of cetirizine during pregnancy: A prospective observational cohort study. Reproductive Toxicology, 26(1), 19–23. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2008.05.053
6. Bérard, A., Sheehy, O., Kurzinger, M. L., & Juhaeri, J. (2016). Intranasal triamcinolone use during pregnancy and the risk of adverse pregnancy outcomes. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 138(1), 97–104.e7. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2016.01.021

Section: Military Affairs and National Security

SMART-МОБІЛІЗАЦІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ КОМПЛЕКТУВАННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ

Дідіченко Володимир
к.в.н., с.н.с.
Череп Василь
к.в.н., ст.досл.
Череп Денис
м.н.с.
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України
Україна

Сучасні геополітичні реалії, тривала збройна агресія проти України та стрімкий технологічний розвиток засобів збройної боротьби висувають принципово нові вимоги до системи стратегічного розгортання та комплектування Збройних Сил України (ЗС України). Традиційні пострадянські підходи до мобілізаційного розгортання, які десятиліттями базувалися на суцільному кількісному обліку, паперовому документообігу та механічному розподілі людських ресурсів, продемонстрували критичні обмеження в умовах високоінтенсивної війни XXI століття. Головним недоліком класичного підходу є відсутність гнучкості, значні часові витрати на верифікацію даних та низький коефіцієнт врахування реальних професійних і психофізичних компетенцій мобілізованих осіб [1].

Цифрова трансформація оборонної сфери є стратегічним пріоритетом розвитку сектору безпеки і оборони України. Впровадження концепції “Smart-мобілізації” виступає не просто елементом модернізації, а базовою передумовою переходу від екстенсивної моделі залучення людських ресурсів до інтенсивної, меритократичної моделі, орієнтованої на індивідуальні спроможності військовозобов’язаних осіб (компетентнісний підхід). Інтеграція передових інформаційних систем, автоматизованих реєстрів та алгоритмів машинного навчання у процеси оборонного планування дозволяє досягти якісно нового рівня оперативності, прозорості та об’єктивності, що безпосередньо впливає на загальний оборонний потенціал держави [2].

Теоретико-методологічні засади концепції “Smart-мобілізації”. Під концептом “Smart-мобілізація” (розумна мобілізація) у воєнно-наукових дослідженнях розуміється керований державою процес переведення системи військового обліку, призову та рекрутингу на цифрову технологічну платформу з автоматизованим аналізом даних та оптимізацією розподілу людських ресурсів за критерієм максимальної відповідності цивільного досвіду військово-обліковій

спеціальності (ВОС). На відміну від класичних мобілізаційних моделей, орієнтованих на валові кількісні показники, розумна мобілізація базується на управлінні знаннями, навичками та компетенціями (Competency-Based HRM) [3].

Основними методологічними принципами впровадження Smart-мобілізації є:

принцип об'єктивності та повноти даних, що досягається шляхом автоматичної інтеграції розрізнених державних баз даних та усунення суб'єктивного чинника під час первинного обліку.

принцип адаптивності та циклічності – спроможність системи миттєво реагувати на зміну оперативної обстановки та переорієнтовувати кадровий потенціал на дефіцитні воєнні напрями;

принцип меритократії: пріоритетне висування та призначення осіб на командні та інженерно-технічні посади на основі їхнього реального досвіду, інтелектуального коефіцієнта та підтверджених навичок, а не формальних ознак;

принцип інтеграційної сумісності (Interoperability) – відповідність архітектури вітчизняних оборонних інформаційних систем стандартам НАТО (зокрема, в контексті управління персоналом та доктрин DOTMLPF-P) [4].

Для глибшого розуміння трансформаційних процесів доцільно порівняти ключові параметри обох систем:

Носій інформації. У традиційній моделі це паперові особові справи та картки первинного обліку, що верифікуються вручну. У Smart-моделі – єдиний хмарний реєстр та електронний профіль військовозобов'язаного з постійним автоматичним логуванням будь-яких змін.

Швидкість актуалізації даних. Класичний підхід потребує фізичної присутності громадянина в ТЦК та СП або надсилання поштових запитів, що створює великі затримки. Цифрова модель функціонує в реальному часі завдяки автоматичному міжвідомчому обміну даними та дистанційному оновленню через мобільні сервіси.

Метод розподілу кадрів. Механічний розподіл (переважно за віковим цензом та базовою придатністю) замінюється алгоритмічним підходом – автоматизованим скіл-маппінгом (skill mapping) та індивідуальним підбором посад за цифровим профілем компетенцій.

Корупціогенний фактор. Пряма взаємодія з посадовими особами на місцях замінюється автоматизованою верифікацією прав на відстрочку чи бронювання та прозорою цифровою чергою, що мінімізує людський чинник.

Архітектура цифровізації комплектування ЗС України. Практична реалізація концепції Smart-мобілізації в Україні забезпечується функціонуванням взаємопов'язаної трикомпонентної технологічної архітектури, яка охоплює рівень збереження даних, рівень взаємодії з громадянином та внутрішньовідомчий аналітичний рівень. Ключовими елементами цієї інфраструктури виступають Єдиний державний реєстр призовників, військовозобов'язаних та резервістів "Оберіг", мобільний застосунок "Резерв+" та відомчі кадрово-аналітичні системи (зокрема, система "Імпульс") [5].

Реєстр "Оберіг" виконує функцію центральної бази даних. Його інноваційність полягає в автоматизованому наповненні відомостями з інших державних реєстрів (Державного реєстру фізичних осіб – платників податків, реєстрів РАЦС, Державної прикордонної служби, Міністерства освіти і науки тощо). Це дозволяє мінімізувати вплив людського фактору і усунути необхідність збирання паперових довідок. Мобільний застосунок "Резерв+" виступає електронним кабінетом військовозобов'язаного, забезпечуючи зручний інтерфейс для дистанційної актуалізації персональних даних, генерації легітимного електронного військово-облікового документа з унікальним QR-кодом та подання заяв на отримання відстрочок чи бронювання [1].

Зі свого боку, внутрішньовійськова система кадрового менеджменту "Імпульс" автоматизує рутинні процеси безпосередньо у військових частинах та органах військового управління. Вона консолідує дані про наявний особовий склад, поточні санітарні та безповоротні втрати, потребу в дефіцитних спеціальностях та автоматично формує запити на докомплектування, надсилаючи їх до Територіальних центрів комплектування та соціальної підтримки (ТЦК та СП). Завдяки цьому забезпечується безперервний та збалансований цикл: від виникнення потреби в конкретному фахівці на передовій до його цільового залучення через цифрові інструменти [2].

Компетентнісний підхід та алгоритмізація рекрутингу. Одним із найважливіших завдань воєнно-наукових досліджень у межах цифровізації комплектування є розробка та математичне обґрунтування алгоритмів автоматизованого профілювання військовозобов'язаних. Перехід до концепції Smart-мобілізації передбачає інтеграцію функцій прямого рекрутингу безпосередньо в цифрову екосистему оборонного відомства. Громадянин отримує можливість самостійно обирати вакантну посаду в Силах оборони через застосунок "Резерв+" або інтегровані партнерські платформи, що кардинально змінює мотиваційну складову призову [1, 4].

Для мінімізації помилок кадрового менеджменту пропонується впровадження багатокритеріальної матриці відповідності. На основі аналізу цивільного профілю особи (вища освіта, досвід роботи за КВЕД, наявність специфічних сертифікатів, володіння іноземними мовами, наявність посвідчення водія відповідних категорій) система автоматично присвоює коефіцієнти сумісності з перспективними військовими посадами. Наприклад, цивільний системний адміністратор чи інженер зв'язку за допомогою автоматизованих алгоритмів маркується як пріоритетний кандидат для підрозділів кібербезпеки, радіоелектронної боротьби (РЕБ) або безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), що виключає його неефективне використання в лінійній піхоті. Це дозволяє оптимізувати витрати держави на тривалу підготовку фахівців з нуля [3].

Проблеми безпеки, виклики та шляхи їх подолання. Попри очевидні переваги, повне розгортання цифрових інструментів мобілізаційного процесу супроводжується значними викликами та ризиками стратегічного рівня. Першочерговим серед них є забезпечення кібербезпеки та абсолютного захисту

персональних даних мільйонів громадян в умовах постійних контркінетичних атак з боку висококваліфікованих кіберпідрозділів противника. Будь-який витік інформації з реєстру "Оберіг" або кадрових систем може призвести до катастрофічних наслідків для національної безпеки [5].

Для нейтралізації цих загроз воєнна наука пропонує такі заходи:

розгортання хмарних сховищ та аналітичних потужностей на базі ізольованої захищеної інфраструктури із жорстким розмежуванням рівнів доступу (на основі архітектури Zero Trust);

постійний аудит безпеки та проведення превентивних кібернавчань (Red Teaming) для виявлення потенційних уразливостей у коді за стосунків;

впровадження технологій блокчейн або розподіленого реєстру для фіксації будь-яких змін у картках військового обліку, що унеможливить несанкціоноване видалення чи модифікацію даних без залишення цифрового сліду особи, яка здійснила операцію [2, 3].

Додатковим організаційним викликом є нерівномірність цифрової грамотності населення та персоналу ТЦК та СП на місцях. Це вимагає впровадження стандартизованих сертифікаційних програм підготовки операторів інформаційних систем та максимального спрощення користувацьких інтерфейсів (UI/UX) для кінцевих користувачів [1].

Отже, впровадження Smart-мобілізації як стрижневого елементу цифрової трансформації системи комплектування ЗС України дозволяє здійснити якісний перехід від застарілих пострадянських підходів до передових мережецентричних стандартів провідних країн світу. Створення єдиного цифрового контуру (Оберіг – Резерв+ – Імпульс) забезпечує керівний склад Сил оборони верифікованими даними в реальному часі, оптимізує мобілізаційні витрати, нівелює корупційні ризики та суттєво підвищує загальну бойову ефективність частин за рахунок точного розподілу фахівців за компетентнісним принципом.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямі вбачаються у розробці прогностичних моделей мобілізаційного розгортання на основі штучного інтелекту, які зможуть автоматично прораховувати варіанти докомплектування військ у разі виникнення різноманітних сценаріїв ескалації бойових дій, враховуючи логістичні маршрути, спроможності навчальних центрів та індивідуальні профілі стійкості людських ресурсів.

Список використаних джерел

1. Міністерство оборони України. (б. д.). Перевірити статус військовозобов'язаного: Резерв+, Дія, ТЦК | Сили оборони України. Міністерство оборони України. https://army.gov.ua/statti/yak-diznatysia-svii-status-viiskovozobovyazanoho
2. Міністерство оборони України. (2025, 13 жовтня). Цифровізація служб персоналу війська: п'ять переваг системи "Імпульс". Міністерство оборони України. https://mod.gov.ua/news/czifrovizacziya-sluzhb-personalu-vijska-p-yat-perevag-sistemi-impuls

3. Міністерство оборони України. (б. д.). Інструкція з користування застосунком Резерв+. Резерв+. https://reserveplus.mod.gov.ua/guide/
4. Поширені питання щодо застосунку “Резерв+”. (2024). Генеральне консульство України в Мюнхені. https://munich.mfa.gov.ua/shchodo-nadannya-konsulskih-poslug-gromadyanam-ukrayini-cholovichoyi-stati-prizovnogo-viku-vid-18-do-60-rokiv/poshireni-pitannya-shchodo-zastosunku-rezerv
5. Цифровізація військового обліку та інші новації мобілізаційного законодавства. (2024). Щотижневик АПТЕКА. https://www.apteka.ua/article/686642

ОСОБЛИВОСТІ ТАКТИКИ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПОЛІЦІЇ УКРАЇНИ В РАЙОНАХ ЗАБРУДНЕНИХ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ

Янковський Олег
старший викладач
Кафедра тактико-спеціальної підготовки
Харківський національний університет внутрішніх справ, Україна
https://orcid.org/0009-0009-6501-0879
Кожухар Леонід
начальник відділу
Центральний науково-дослідний інститут ЗС України
https://orcid.org/0000-0002-2319-3867

У сучасних безпекових умовах, що сформувалися внаслідок збройної агресії проти України, проблема забруднення територій вибухонебезпечними предметами (ВНП) набуває системного та довготривалого характеру. Масштаби мінної небезпеки, що охоплюють як райони активних бойових дій, так і тилові території значною мірою ускладнюють функціонування суб’єктів сектору безпеки та оборони, зокрема підрозділів Національної поліції України, що в свою чергу негативно впливає на їхню оперативну ефективність, координацію дій та реалізацію завдань у складних умовах сучасних викликів.. Вказане зумовлює необхідність переосмислення підходів до організації службової діяльності, адаптації тактичних прийомів та впровадження нових моделей реагування на загрози, що пов’язані з вибуховими залишками війни [1].

Зміст діяльності підрозділів поліції в умовах мінної небезпеки виходить за межі традиційного розуміння правоохоронних функцій. Поліцейські не тільки забезпечують публічний порядок і реагують на правопорушення, але й виконують завдання, що пов’язані із забезпеченням безпеки населення в умовах потенційного ураження вибуховими предметами, організовують обмеження

доступу до небезпечних зон, беруть участь у евакуаційних заходах, а також взаємодіють із підрозділами, що здійснюють розмінування територій [2].

Характерною ознакою функціонування поліції в таких умовах є підвищений рівень невизначеності. Недостатність повної та достовірної інформації про розташування, типи та технічні характеристики вибухонебезпечних предметів зумовлює вимушене застосування особовим складом принципу превентивної обережності під час виконання службових завдань. Будь-який підозрілий об'єкт або ділянка місцевості розглядається як потенційно небезпечні, що зумовлює необхідність суворого дотримання встановлених алгоритмів безпеки та обмеження самостійних дій без залучення спеціалізованих підрозділів [3].

Особливості тактичної діяльності підрозділів Національної поліції України в умовах забруднення територій вибухонебезпечними предметами вимагають послідовної реалізації комплексу взаємопов'язаних заходів, у структурі яких ключову роль відіграє оцінка оперативної обстановки. Збір та аналіз інформації здійснюється з урахуванням різноманітних джерел, включаючи дані оперативних служб, повідомлення населення, результати інженерної розвідки від підрозділів ЗС України, а також інформацію, що отримана за допомогою сучасних технічних засобів, зокрема безпілотних літальних апаратів. Узагальнення таких даних дозволяє сформувати уявлення про рівень загрози та визначати найбільш небезпечні ділянки місцевості [4].

Організація пересування особового складу в умовах мінної небезпеки є одним із найбільш критичних аспектів діяльності. Переміщення здійснюється виключно за перевіреними маршрутами, які попередньо обстежені фахівцями відповідного профілю. Важливим є дотримання дистанції між працівниками поліції, уникнення скупчення особового складу а також використання системи маркування безпечних зон. Відхилення від визначених маршрутів без належної перевірки категорично забороняється, оскільки це значно підвищує ризик ураження вибухонебезпечними предметами [5].

Особливу роль у забезпеченні безпеки відіграє розвідка місцевості на наявність ВНП, яка проводиться із залученням вибухотехнічних та піротехнічних підрозділів із застосуванням спеціальних технічних засобів пошуку. Використання цих засобів (металодетектори, роботизовані комплекси і безпілотні системи) дозволяє значно підвищити ефективність виявлення ВНП та мінімізувати ризики для життя і здоров'я поліцейських. У сучасних умовах такі технології стають невід'ємним елементом тактичного забезпечення громадської та публічної безпеки [6].

Вагомого значення набуває також організація взаємодії між різними підрозділами, що залучені до виконання завдань у сфері протимінної діяльності. Підрозділи Національної поліції України здійснюють тісну координацію з Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Збройними Силами України, Національною гвардією України, а також із міжнародними організаціями. Така взаємодія сприяє узгодженості дій, ефективному обміну

інформацією та синхронізації тактичних підходів, що в підсумку підвищує ефективність виконання поставлених завдань [7].

В умовах урбанізованого середовища тактика дій поліції ускладнюється із-за наявності великої кількості об'єктів, придатних для прихованого розміщення ВНП. Будівлі, транспортні засоби, інженерні споруди можуть бути використані для встановлення мін-пасток, що вимагає підвищеної уваги та ретельного обстеження. У таких умовах першочергового значення набуває використання дистанційних методів розвідки місцевості, пошуку ВНП та мінімізація безпосереднього контакту фахівців-вибухотехніків з потенційно небезпечними об'єктами.

На відкритій місцевості, зокрема в сільській, ситуація ускладнюється значними площами можливого мінування та складністю виявлення мінно-вибухових предметів. Це зумовлює необхідність застосування системного підходу до організації пересування, включаючи використання маркованих маршрутів, залучення вибухотехнічних підрозділів та проведення постійного моніторингу обстановки.

Важливим напрямом діяльності підрозділів поліції є забезпечення безпеки цивільного населення. Це передбачає встановлення попереджувальних знаків, обмеження доступу до небезпечних зон, організацію евакуаційних заходів, а також проведення інформаційно-роз'яснювальної роботи серед громадян. Формування у населення навичок безпечної поведінки в умовах підвищеної мінної небезпеки є одним із ключових чинників зниження рівня ураження від ВНП.

Особливої уваги потребує також питання психологічної підготовки особового складу. Тривале перебування в умовах підвищеного ризику, необхідність оперативного ухвалення рішень і висока відповідальність за життя та безпеку інших осіб зумовлюють значне психоемоційне навантаження. У цьому контексті доцільним є впровадження спеціалізованих програм психологічної підготовки, орієнтованих на розвиток стресостійкості та спроможності особового складу результативно діяти в екстремальних умовах.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває впровадження інноваційних технологій у діяльність підрозділів. Застосування безпілотних літальних апаратів, геоінформаційних систем, роботизованих платформ та інших технічних рішень сприяє підвищенню рівня ситуаційної обізнаності, вдосконаленню процесів ухвалення управлінських рішень і мінімізації ризиків для особового складу. Інтеграція зазначених технологій у практичну діяльність Національної поліції України розглядається як один із ключових перспективних напрямів її подальшого розвитку.

Отже, діяльність підрозділів Національної поліції України в районах, що забруднені вибухонебезпечними предметами, характеризується високим рівнем складності, багатокомпонентністю та підвищеним ризиком. Ефективність виконання завдань у таких умовах залежить від рівня професійної підготовки працівників поліції, якості міжвідомчої взаємодії, технічного забезпечення та

дотримання встановлених стандартів безпеки. Подальше вдосконалення тактики дій має здійснюватися на підставі комплексної підготовки працівників поліції та підходів, що поєднують національний досвід, міжнародні стандарти а також передбачають активне впровадження сучасних технологій у практичну діяльність правоохоронних органів.

Список використаних джерел

1. Іванець М., Горєлишев С., Артикула А. Методика розрахунку необхідної кількості спеціалістів для проведення гуманітарного розмінування небезпечних територій України // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2023. №1(41). DOI: 10.33405/2409-7470/2023/1/41/280860, URL: https://znp.nangu.edu.ua/article/view/280860?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
2. Колос Р. Л., Фтемов Ю. О. Організація виконання робіт з розмінування місцевості від вибухонебезпечних предметів // Військово-технічний збірник. 2017. №17. С. 53–60. DOI: 10.33577/2312-4458.17.2017.53-60, URL: https://vtz.asv.gov.ua/article/view/147418?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
3. Закон України «Про протимінну діяльність в Україні» від 06.12.2018 № 2642-VIII URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
4. Трегуб О. А. Поняття і види розмінування в Україні: нормативно-правовий контекст // Вісник Луганського навчально-наукового інституту ім. Е.О. Дідоренка. 2024. DOI: 10.32782/2786-9156.107.3.147-157, URL: https://luhbulletin.dnuvs.ukr.education/index.php/main/article/view/242?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
5. Каптан М. В. 23 відсотки території України під загрозою як індикатор кризи правового регулювання протимінної діяльності // Київський часопис права. 2026. DOI: 10.32782/klj/2026.2.35, URL: https://kyivchasprava.kneu.in.ua/index.php/kyivchasprava/article/view/840?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
6. Кириленко В. А., Нероба В. Р. Глобальна проблема розмінування: стан та підходи до розв'язання // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ. 2019. №2(66). С. 115–119. DOI: 10.33099/2304-2745/2019-2-66/115-119, URL: https://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/195439?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).
7. Мільохін М. Мультисенсорні технології для виявлення вибухонебезпечних предметів при розмінуванні з використанням роїв БПЛА // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. DOI: 10.31891/2219-9365-2024-78-40, URL: https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/413?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.07.2026).

Section: Pedagogy, Philology and Linguistics

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENGLISH AND UZBEK PROVERBS ABOUT WOMEN

Olimzoda Parvina
Independent researcher,
Samarkand State University named after Sharof Rashidov

Abstract

Proverbs constitute an important part of folk culture and represent a valuable source for understanding the worldview, moral values, and social structures of a nation. The image of women in proverbs reflects traditional gender norms, family expectations, and patriarchal attitudes embedded in everyday speech. This article provides a comparative analysis of English and Uzbek proverbs about women, focusing on their linguistic structure and cultural meanings. The study examines major thematic categories such as women's speech, modesty, domestic roles, marriage, motherhood, wisdom, and negative stereotypes. The findings demonstrate that both English and Uzbek proverbial traditions share many common patriarchal perceptions, portraying women as talkative, morally responsible, and strongly connected to household duties. However, Uzbek proverbs more often emphasize women's positive role as the foundation of family harmony and prosperity, while English proverbs, especially in early collections, frequently display irony, satire, and criticism. The comparative approach highlights how proverbs function as cultural mirrors that preserve historical attitudes toward women in both societies.

Keywords: proverb studies, women's image, English folklore, Uzbek folklore, gender roles, cultural linguistics, comparative analysis.

Proverbs occupy a central place in the folklore and linguistic heritage of every nation. They preserve collective wisdom, cultural experience, and social norms transmitted across generations. Since proverbs are deeply connected with everyday life, they often reflect traditional expectations about gender behavior. The portrayal of women in English and Uzbek proverbs provides significant insight into historical perceptions of femininity, morality, family responsibility, and social status.

A comparative study of these proverbs reveals both similarities and differences shaped by cultural and religious contexts, as well as by the historical development of English and Uzbek societies.

Women's Speech and Communication

One of the most pervasive categories in both traditions concerns female speech. English proverbs such as "A woman's tongue wags like a lamb's tail" and "One tongue is enough for a woman" employ animal comparisons and hyperbole to construct female speech as ungovernable and undignified. The zoomorphic metaphor of "wagging" connotes involuntary, unreflective movement, framing women's language as lacking

rational control. Uzbek proverbs exhibit a strikingly parallel strategy: "Ayolning tili uzun" ("A woman's tongue is long") and "Ayol tili qirq bo'lak" ("A woman's tongue has forty pieces") encode the same cultural assumption through different figurative vehicles. The Uzbek number forty (qirq) carries cultural significance as a symbol of excess, making the metaphor culturally specific while remaining ideologically convergent with the English tradition.

Closely related is the idealization of female silence. The English proverb "Silence is the best ornament of a woman" and the Uzbek "Ayolning ziynati — hayo" ("A woman's ornament is modesty") deploy the same ornament metaphor, assimilating female communicative restraint to bodily decoration and locating women's worth in aesthetic pleasing rather than intellectual competence. As Cameron (1992) observes, such prescriptions function not as descriptions of empirical reality but as normative frameworks policing female participation in public life. Such proverbs demonstrate a traditional patriarchal belief that female speech is excessive and potentially dangerous. In both cultures, silence is often associated with virtue, while talkativeness is linked to disorder or conflict.

Domestic Duties and Women's Work

Women are traditionally associated with household responsibilities and family care. In English, this idea is reflected in:

"A woman's work is never at an end."

"Man works from sun to sun, but a woman's work is never done."

Uzbek parallels include:

"Ayolning ishi bitmas" ("A woman's work never ends").

"Uy ishlari ayolga yuk" ("Household work is a woman's burden").

These proverbs emphasize that women's labor was historically undervalued yet constant, reinforcing the perception that a woman's primary sphere is the home.

Women, Marriage, and Family Roles

Marriage is another significant topic. Proverbs often describe women as wives and evaluate their influence on family life. English examples include:

"A good wife makes a good husband."

"Choose a wife rather by your ear than by your eye."

Uzbek proverbs similarly highlight the wife's role in shaping the household:

"Erkak bosh, ayol bo'yin" ("The man is the head, the woman is the neck").

"Yaxshi ayol uyga fayz keltirar" ("A good woman brings blessing to the home").

These sayings demonstrate that although men were socially dominant, women were recognized as essential to family stability and success.

Motherhood and the Sacred Image of Women

Unlike many negative stereotypes, both traditions also contain respectful representations of women as mothers. Motherhood is often idealized as sacred. Uzbek folklore especially values mothers:

"Ona – muqaddas" ("A mother is sacred").

"Onaning duosi – farzandga panoh" ("A mother's prayer is protection for a child").

English tradition also contains positive views:

"A mother's love is endless."

"God could not be everywhere, so He created mothers."

Such proverbs reflect the universal respect for motherhood and the emotional significance of women within the family.

Negative and Satirical Depictions

Both traditions contain proverbs that criticize women or portray them as sources of trouble. English examples include:

"Women and dogs set men together by the ears."

"A wicked woman is worse than the Devil."

Uzbek parallels include:

"Ayol sabab, erkaklar urishar" ("Because of a woman, men fight").

"Yomon ayol – uy balosi" ("A bad woman is the disaster of the home").

These expressions reveal patriarchal moral judgment, where women's behavior is often blamed for social conflict or domestic instability.

Cultural Differences in Representation

Despite many shared themes, Uzbek proverbs more frequently balance criticism with praise. For example:

"Ayol bor uy – fayzli uy" ("A house with a woman is a blessed house").

Such sayings portray women as creators of harmony, prosperity, and peace.

In contrast, many English proverbs recorded in early collections, such as John Ray's A Complete Collection of English Proverbs (1670), often adopt a sharper satirical tone, reflecting historical European gender discourse.

Thus, Uzbek proverbial tradition tends to preserve a more respectful family-centered image of women, while English tradition often emphasizes humor and irony.

Conclusion. The comparative analysis of English and Uzbek proverbs about women reveals deep cultural connections and shared patriarchal values. Both traditions portray women through recurring themes such as talkativeness, modesty, domestic responsibility, marriage roles, and moral evaluation. Negative stereotypes are present in both cultures, reflecting historical social control over women's behavior. However, Uzbek proverbs more often emphasize women's positive contribution to family prosperity and harmony, while English proverbs frequently display a more critical or satirical attitude. Overall, proverbs serve as linguistic and cultural documents that preserve traditional gender expectations and provide insight into the historical worldview of both societies.

References

1. Ray, J. (1670). A Complete Collection of English Proverbs. London.
2. Taylor, A. (1931). The Proverb. Cambridge, MA: Harvard University Press.
3. Mieder, W. (2004). Proverbs: A Handbook. Westport, CT: Greenwood Press.
4. Dundes, A. (1989). Folklore Matters. Knoxville: University of Tennessee Press.
5. Mirzayev, T. (2005). O'zbek xalq maqollari. Tashkent: Fan Publishing.
6. Karimov, S. (2012). O'zbek folklorida ayol obrazi [The Image of Women in Uzbek Folklore]. Samarkand.
7. Norrick, N. (2014). Subject Area, Terminology and Methodology in Proverb Studies. Journal of Folklore Research.

METHODS FOR DEVELOPING STUDENTS' EMPATHIC SKILLS THROUGH PEDAGOGICAL VALUES

Jumanov Erdavlet Sharifjon ugli
Independent Researcher,
Gulistan State University

Abstract. This article provides a theoretical analysis of how students' empathic skills can be developed through pedagogical values in the context of globalization. It examines the psychological, socio-pedagogical, and deontological foundations of empathy and explains its role in fostering humanism, tolerance, solidarity, social responsibility, and active citizenship. Particular attention is paid to interactive, innovative, and reflective educational technologies that support the integration of an empathic approach into teaching and learning. The article also proposes a staged model for designing empathy-oriented educational activities and emphasizes the teacher's role in creating a psychologically safe, respectful, and cooperative classroom environment.

Keywords: empathy, pedagogical values, globalization, humanism, deontological approach, social integration, empathic environment, emotional intelligence.

The twenty-first century is characterized by profound social, cultural, technological, and moral transformations associated with globalization. Globalization involves the growing integration of economic, information and communication, cultural, and educational systems. As a result, individuals are expected to possess not only subject knowledge but also an open worldview, intercultural communication skills, social adaptability, and the ability to understand people from different backgrounds.

In contemporary society, academic achievement alone is insufficient. Students must also learn to recognize other people's emotions, respond sensitively to their experiences, and behave constructively in culturally diverse environments. The rapid growth of information flows, the widespread use of digital technologies, and the emergence of a global educational space require schools to prepare learners intellectually, socially, and emotionally. International approaches to humanistic education and global citizenship education similarly emphasize respect, peaceful interaction, tolerance, and responsibility as essential educational values.

Empathy may be defined as the ability to perceive, understand, and appropriately respond to another person's emotional state. Rogers (1961) described empathy not as simple sympathy, but as an effort to understand another person's inner world from that person's frame of reference. Such understanding contributes to students' moral development, social adjustment, emotional maturity, and responsible behavior. It also helps establish trusting and humane relationships between teachers and students, which are among the key conditions for effective learning.

Within the educational process, empathy functions not only as an emotional capacity but also as a moral and communicative phenomenon. An empathic teaching approach supports a positive classroom climate, reinforces mutual respect and sincerity, and encourages social participation and responsibility. For this reason, empathy has become an important foundation of humanistic education.

Pedagogical values are a system of moral, professional, and cultural principles that guide the teacher's activity and shape the ethical foundations of education. They include humanism, justice, tolerance, cooperation, dignity, responsibility, and respect for the learner. These values directly influence students' inner world, thinking, and social relationships. In the context of globalization, developing empathy through pedagogical values is therefore an effective way to strengthen humane qualities and promote moral maturity.

Pedagogical values create a social and ethical basis for empathy because they encourage learners to remain attentive to the feelings of others, understand different perspectives, and interact respectfully. Consequently, an empathy-oriented educational process helps students acquire not only knowledge but also the ability to communicate humanely, regulate their emotions, cooperate with others, and demonstrate social compassion. Studying the relationship between empathy and pedagogical values is thus a relevant scientific and practical task for contemporary education.

In psychology, empathy is widely regarded as a central component of interpersonal relationships. Theodor Lipps interpreted it as the capacity to experience another person's state from within by imaginatively placing oneself in that person's position. Erich Fromm connected empathy with a socially oriented attitude grounded in care and love. Rogers (1961) treated empathy as a key quality of person-centered communication, through which an individual attempts to understand another person's emotional world without losing awareness of the distinction between self and other.

Hoffman (2000) viewed empathy as an important foundation of moral development. From this perspective, sensitivity to another person's distress can motivate prosocial behavior and influence moral decision-making. Empathy therefore has both affective and cognitive dimensions: a person may emotionally resonate with another's experience while also interpreting the causes, meaning, and context of that experience.

In pedagogy, empathy is considered an integral element of professional culture. An empathic teacher seeks to understand the learner's personality, recognizes emotional needs, and communicates in a constructive and supportive manner. This process reflects the deontological dimension of teaching, namely professional duty, ethical responsibility, and respect for the dignity of each learner.

Pedagogical values constitute the social and philosophical foundation of empathy. They reinforce a learner's moral position and cultivate humanism, justice, solidarity, tolerance, respect, and responsibility. Empathy can therefore be understood as a practical expression of pedagogical values in everyday interaction.

Moral and philosophical function. It develops a humanistic worldview, respect for others, and a sense of responsibility.

Social function. It strengthens tolerance, solidarity, mutual assistance, and constructive participation in group life.

Pedagogical function. It supports cooperation, dialogue, and subject-to-subject interaction in the educational process.

Thus, empathy is not merely a psychological phenomenon. It is also an ethical and communicative mechanism through which the humanistic content of pedagogical values is translated into real behavior.

In contemporary education, empathic skills can be developed through innovative, interactive, and reflective approaches. Empathy-oriented education aims to improve not only students' academic knowledge but also their emotional intelligence, social awareness, communication, and self-regulation. The principles of global citizenship education are consistent with this goal because they promote peace, human dignity, cultural sensitivity, mutual responsibility, and respectful dialogue.

Role-play. Students model real-life situations and examine them from different social and emotional perspectives. This method helps learners experience how a situation may be perceived by another person and encourages perspective-taking.

The "empathy chain" technique. Students listen to a peer's statement or emotional experience and respond in a supportive, non-judgmental manner. The activity develops emotional attentiveness and strengthens interpersonal connection.

Reflective activities. Questions such as "Whom did I understand better today?" and "How did another person's feelings influence my response?" encourage learners to analyze their own reactions, recognize emotions, and develop emotional self-regulation.

Collaborative discussion. Small-group dialogue, structured debates, case analysis, and peer feedback allow students to encounter diverse views while practicing respectful communication.

Information and communication technologies. Online communication platforms, virtual discussions, digital storytelling, and collaborative projects can foster global awareness and empathic communication when they are accompanied by clear ethical rules and teacher guidance.

When systematically applied, these methods contribute to the development of emotional intelligence and help establish a positive psychological environment between students and teachers.

The integration of empathy into education should be purposeful, systematic, and based on clearly defined learning outcomes. A staged pedagogical model makes it possible to assess learners' needs, select appropriate methods, and evaluate changes in their emotional and social competencies.

Diagnostic stage. The teacher assesses students' initial level of empathy, communication culture, emotional awareness, and social adjustment. Depending on the research purpose and ethical requirements, observation, interviews, reflective tasks, and validated instruments such as the Hogan Empathy Scale or the Mehrabian and Epstein measure may be used.

Motivational stage. Students are introduced to emotionally meaningful tasks, short videos, literary texts, and real-life cases that stimulate interest in human experiences and moral values.

Interactive stage. Group discussions, role-play, debates, cooperative learning, and project-based activities provide learners with practical opportunities to listen, interpret perspectives, negotiate, and support others.

Reflection stage. Students analyze their emotions and actions in written or oral form, consider how their behavior affected others, and formulate more constructive responses for future situations.

Evaluation stage. The teacher compares initial and final observations, examines changes in communication and cooperation, and identifies areas that require continued support.

This model supports the balanced development of affective, cognitive, and behavioral components of empathy. As a result, students learn not only to feel emotional resonance but also to understand another person's perspective and choose behavior appropriate to the situation.

In education, empathy is first demonstrated through the teacher's personal example. The teacher's empathic culture is a practical expression of professional deontology, responsibility, and commitment to the learner's dignity. When teachers communicate empathically, the classroom is more likely to become a space of trust, emotional safety, cooperation, and creative participation.

An empathic teacher is not limited to transmitting knowledge. The teacher also regulates interpersonal interaction, models respectful behavior, supports students during difficulty, and creates conditions in which learners can express themselves without fear of humiliation.

Active listening. Listening without interruption or distraction and demonstrating genuine attention to the student's message.

Emotional self-regulation. Maintaining balance in stressful situations and avoiding impulsive or humiliating responses.

Openness and tolerance. Respecting each learner's views, background, personal experience, and pace of development.

Empathic reflection. Considering how the teacher's words, tone, expectations, and actions affect students' emotions and motivation.

Fairness and consistency. Applying classroom rules transparently and avoiding favoritism or discriminatory treatment.

Through these qualities, the teacher becomes a humane leader who supports students' moral growth, social engagement, and capacity for respectful interaction.

CONCLUSION. In the era of globalization, education should not be limited to the transmission of knowledge and practical skills. It must also promote the learner's moral, social, and emotional development. Developing empathic skills through pedagogical values is therefore an essential condition for building a humanistic, ethically responsible, and socially oriented educational system.

Empathy occupies a central place in students' psychological development. It activates emotional intelligence and strengthens the ability to understand others' feelings, take another person's perspective, respond to distress, and make ethically informed decisions. It also contributes to social identity, readiness for intercultural dialogue, and constructive participation in diverse communities.

Pedagogical values serve as the moral foundation of this process. Humanism, tolerance, justice, cooperation, mutual respect, and responsibility create the social and ethical conditions in which empathy can develop. Empathy and pedagogical values are therefore interdependent: values provide direction for empathic behavior, while empathy enables values to be expressed in practice.

Effective empathy-oriented education requires teachers to model respectful behavior, employ interactive and reflective technologies, maintain professional ethics, and create a psychologically safe learning environment. Under these conditions, education can cultivate not only knowledgeable learners but also humane, tolerant, socially responsible, and morally mature citizens.

Accordingly, the development of empathic skills through pedagogical values may be regarded as an important direction in the modernization of education. It enriches students' emotional and ethical world and supports the formation of active, responsible, and compassionate members of society.

References

1. Abduqodirov, A. (2017). Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. Tashkent: O‘zbekiston Faylasuflar Jamiyati.
2. Allayarova, D. (2022). Empatik kompetensiyalarni shakllantirishda innovatsion metodlar. Ta'lim va Taraqqiyot, 2.
3. Davydov, V. V. (1996). Teoriya razvivayushchego obucheniya. Moscow: Intor.
4. Dewey, J. (1916). Democracy and education. New York, NY: Macmillan.
5. Goleman, D. (2011). The brain and emotional intelligence: New insights. Northampton, MA: More Than Sound.
6. G‘oziev, E. G. (2002). Umumiy psixologiya. Tashkent: O‘zbekiston Milliy Ensiklopediyasi.
7. Habermas, J. (1990). Moral consciousness and communicative action. Cambridge, MA: MIT Press.
8. Hasanboyeva, O. (2018). Pedagogik qadriyatlar va ularni shakllantirish metodikasi. Tashkent: Fan va Texnologiya.
9. Hoffman, M. L. (2000). Empathy and moral development: Implications for caring and justice. Cambridge: Cambridge University Press.
10. Jalolov, J. J. (2019). Pedagogik mahorat va etik qadriyatlar. Tashkent: TDPU.
11. Karimova, R. A. (2016). Psixologik muloqot va empatiya madaniyati. Tashkent: Oliy Ta'lim.
12. Leontiev, A. N. (1975). Deyatelnost, soznanie, lichnost. M.: Politizdat.
13. OECD. (2018). The future of education and skills: Education 2030. Paris: OECD.

14. Rogers, C. R. (1961). On becoming a person: A therapist's view of psychotherapy. Boston, MA: Houghton Mifflin.
15. Selevko, G. K. (1998). Sovremennye obrazovatelnye tekhnologii [Modern educational technologies]. M.: Narodnoe Obrazovanie.
16. Slastenin, V. A. (2002). Pedagogika: Uchebnoe posobie dlya studentov pedagogicheskikh vuzov. M.: Akademiya.
17. Taylanova, Sh. Z. (2020). Pedagogika oliy ta'lim muassasasi talabalarida qadriyatlar tizimini shakllantirish. Tashkent: Innovatsion Rivojlanish.
18. Xolmuhamedov, A. (2021). Empatiya va o'qituvchi shaxsiyati: Psixologik yondashuv. Psixologiya va Ta'lim, 3.

MODERN APPROACHES TO THE STRATEGIC MANAGEMENT OF TEACHERS' PROFESSIONAL DEVELOPMENT

Mansurov Farrux Najmitdinovich
Senior Lecturer at the Department
of Pedagogy, Psychology, and
Educational Technologies,
Samarkand Region Center for
Pedagogical Excellence

Abstract

This article explores the scientific and theoretical foundations of strategic planning and management within the process of teachers' professional development. The author emphasizes that enhancing the professional potential of pedagogical personnel amid globalization and digital transformation serves as a crucial factor in the sustainability of the education system. The paper analyzes the core content of professional development, the essence of strategic planning, and the primary frameworks deployed for the effective organization of this process—namely, systemic, competency-based, and motivational approaches.

Keywords: professional development of teachers, strategic planning, management process, systemic approach, competency-based approach, motivational approach, quality of education, pedagogical potential, intrinsic motivation, innovative thinking.

Amid globalization, digital transformation, and socio-economic shifts, the education system is becoming the most critical driver of human capital development. The sustainable progress of any society depends primarily on the professional potential of its pedagogical staff, their openness to innovation, and their culture of continuous self-improvement. Consequently, the strategic planning and management of the professional development of educators and leaders within the educational sphere stands out as one of the most pressing scientific and practical frontiers today. Professional development is

not a mere routine upskilling process; rather, it is a dynamic, systemic process aimed at the continuous improvement of a teacher's professional competencies, values, motivation, and reflective thinking. Successfully organizing such a process, in turn, requires a deep comprehension of strategic management principles and their application to educational practice. According to modern management theories (F. Taylor, H. Fayol, P. Drucker, H. Mintzberg) and educational management concepts, strategic planning means anticipating the future and establishing clear directions to achieve long-term goals based on available resources. In the field of education, this process systematizes the path of teachers' professional growth on one hand, and shapes a management mechanism aligned with the overall development strategy of the educational institution on the other.

Regulatory documents, such as Decree No. PF-79 (2023) and Resolution No. PQ-231 (2024) of the President of the Republic of Uzbekistan, as well as Order No. 246 (2024) of the Ministry of Public Education, place special emphasis on elevating the performance of pedagogical personnel to a qualitatively new level and managing their professional development through a strategic lens. Based on these documents, individual development plans, competency-based assessment systems, and key performance indicators (KPIs) for professional development are being integrated for teachers. However, a number of challenges persist within the strategic planning of professional development: factors such as the insufficient culture of strategic thinking among teachers, a lack of clearly defined target indicators in planning, and weak monitoring and analysis mechanisms necessitate deeper scientific and theoretical research in this domain.

In essence, strategic planning is a managerial activity aimed at setting long-term goals for an organization or system, defining its future outlook, and allocating resources rationally. While P. Drucker described strategy as "the art of building the future from the present," H. Mintzberg interprets it as "a continuous process of analysis, choice, and decision-making." Strategic planning in the education system serves to identify the vectors of teachers' professional growth, aligning them with school objectives and state policy.

Several scientific frameworks play a vital role in managing the professional development process of teachers. The systemic approach views a teacher's professional development in close correlation with all components of the educational system—leadership, methodical services, the teaching staff, and the external environment. Within this approach, development is treated not as an isolated individual phenomenon, but as a process managed across the entire school community.

Under this approach, teacher development is executed based on the following key questions:

- Who needs to be developed (diagnostics)?
- What needs to be developed (competencies, needs)?
- How should development be achieved (methods, strategies, formats)?
- Utilizing which resources (material, organizational, human resources)?
- How will the outcome be evaluated (monitoring, reflection, analysis)?

The competency-based approach emphasizes the teacher's capacity to apply professional knowledge and skills in real-world pedagogical situations. Here, the primary focus is not on abstract theoretical knowledge, but on developing practical skills such as increasing student learning motivation, employing differentiated instruction, and integrating modern educational technologies. In the contemporary educational landscape, simply acquiring knowledge, skills, and abilities is secondary to the capacity to apply them effectively in practice. From this perspective, the competency-based approach occupies a critical place in the educational process. This approach trains the student or educator to think independently, solve problems, communicate, and self-evaluate their own activities.

At the core of the competency-based approach lies the question "What can they do?" rather than "What do they know?". That is, a teacher or student must possess the ability to effectively utilize their knowledge in real-life contexts. This approach is equally significant for the professional growth of teachers. An educator must not only be knowledgeable in their respective discipline but must also master professional competencies such as fostering critical thinking in students, collaborative teamwork, and leveraging information technologies. The advantage of the competency-based approach is that it bridges education with real life, transforms both student and teacher into active agents, and allows educational outcomes to be evaluated based on explicit criteria. Consequently, this framework is viewed as the cornerstone of modern education. In the contemporary educational paradigm, merely absorbing facts, skills, and habits is insufficient; applying them dynamically in practice takes precedence. From this point of view, the competency-based approach plays a pivotal role in the educational loop. It instructs the student or pedagogue to think independently, resolve challenges, communicate, and evaluate their own performance. This approach maintains vital importance in teachers' professional development. Teachers must not only know their subject matter but must also acquire professional competencies like instilling critical thinking in pupils, cooperative work, and using information technologies. The benefit of the competency-based approach lies in its ability to connect education to life, turn the student and teacher into active subjects, and enable the assessment of educational outcomes based on specific benchmarks. For this reason, this approach is regarded as the bedrock of modern education.

The motivational approach, on the other hand, centers on the internal needs of teachers, their professional commitment, and the process of finding meaning and self-actualization in their work. Modern management theories demonstrate that mandatory courses are less effective than development programs that offer free choice, individualized trajectories, and empower teachers to map out their own professional growth. A teacher's professional development is not merely an organizational or methodological procedure; it is a complex psychological process tied to intrinsic needs and desires. Therefore, the motivational approach holds a prominent place in teacher professional development. The essence of the motivational approach is to cultivate and continuously sustain the intrinsic drivers that prompt a teacher toward self-improvement. Such drivers emerge through factors like job satisfaction, a sense of

professional accomplishment, societal recognition, and taking pride in student achievements. In the motivational framework, leadership incentive systems, a supportive environment, and recognition and evaluation mechanisms are of paramount importance. This is because external incentives reinforce intrinsic motivation, and intrinsic motivation inspires the teacher toward continuous growth. Consequently, deploying a motivational approach in developing teachers boosts their engagement, fosters a culture of self-improvement, and ultimately leads to a significant rise in the quality of education.

The strategic management process begins with analyzing the current professional potential of teachers. During the diagnostic phase, teachers' strengths and weaknesses are identified, and development goals tailored to their needs are subsequently established. The planning phase involves designing the teacher's individual development plan, allocating resources, and creating the necessary conditions. In the implementation phase, the execution of planned activities—such as seminars, training sessions, experience sharing, and project work—is ensured. Finally, through the monitoring and evaluation phase, results are analyzed, the dynamics of the teacher's professional growth are mapped out, and an analytical foundation is established for the next strategic cycle. Thus, the strategic management of teachers' professional development is a continuous, reflective, goal-oriented, and scientifically grounded process. While elevating the professional maturity of the educator, it simultaneously builds a culture of mutual learning and innovation within the school community.

The strategic planning and management of teachers' professional development stands as one of the most critical governance mechanisms driving the sustainable evolution of the modern education system. This process establishes the conditions required to systematically update a teacher's knowledge, skills, and values, thereby maximizing their professional potential and lifting the quality of education to a higher plane. The integration of systemic, competency-based, and motivational approaches allows for the comprehensive management of the teacher professional development process. While the systemic approach ensures management of the process at the institutional level, the competency-based approach enhances the teacher's capacity to perform effectively in practical environments.

The motivational approach activates the teacher's internal drivers, steering them toward self-work and an embrace of innovation. Strategic planning converts teachers' professional development into a scientifically backed, targeted, and results-oriented process. Through this approach, every pedagogue can consciously design their professional path, while educational institutions gain the ability to effectively realize their broader development strategies. Therefore, the strategic management of teacher professional development is a vital guarantee for qualitative transformations, innovative thinking, and sustainable outcomes across the educational system.

References

1. Vygotsky L. S. Psikhologiya razvitiya cheloveka. — M.: Smysl, 2005.
2. Fullan M. The New Meaning of Educational Change. — New York: Teachers College Press, 2007.

3. Hargreaves A., Fullan M. Professional Capital: Transforming Teaching in Every School. — New York: Teachers College Press, 2012.
4. Mintzberg H. The Rise and Fall of Strategic Planning. — New York: Free Press, 1994.
5. Drucker P. Management: Tasks, Responsibilities, Practices. — New York: Harper & Row, 1973.
6. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated December 28, 2023, No. PF-79.
7. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated January 29, 2024, No. PQ-231.
8. Order of the Ministry of Preschool and School Education of the Republic of Uzbekistan dated May 8, 2024, No. 246.

MOTIVATION VS. FRUSTRATION AS KEY EMOTIONAL ASPECTS OF TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE

Процько Євгенія
к.п.н., доцент
Кафедра теорії та методик іноземних мов
Уманський національний університет, Україна

Teaching English as a foreign language is, first and foremost, an emotional undertaking rather than a purely technical or cognitive one. For decades, methodology treated the classroom as a site of information transfer, where success was measured through linguistic outcomes such as vocabulary size, grammatical accuracy, or test scores. This view has been steadily replaced by a recognition that emotion, not only cognition, drives the moment-to-moment decisions of both teachers and learners (Bigelow, 2019). Among the wide spectrum of emotions documented in language-education research, motivation and frustration deserve particular attention because they sit at opposite poles of the same continuum: motivation propels engagement, persistence, and a willingness to take communicative risks, while frustration signals a perceived gap between effort and outcome, and, if it accumulates, can lead to disengagement, avoidance, or burnout.

The practical urgency of this problem is difficult to overstate. English is acquired worldwide predominantly in institutional settings where learners rarely have authentic everyday exposure to the language outside the classroom, and where teachers are expected to sustain enthusiasm despite heavy workloads, mixed-ability groups, and standardized assessment pressures (Alzaanin, 2021). Consequently, the interaction between motivation and frustration is not a marginal psychological detail but a determinant of whether instruction leads to durable, communicative competence or to

attrition and disengagement from the language altogether. Understanding how these two forces interact, reinforce, or neutralize each other constitutes both a theoretical and an applied problem: theoretical, because it requires an integrated model of teacher and learner emotion; applied, because it has direct consequences for curriculum design, teacher training, and classroom management in EFL contexts.

The last several years have produced a substantial body of scholarship that repositions emotion, rather than cognition alone, at the center of second- and foreign-language pedagogy. The emergence of Positive Psychology (PP) within applied linguistics has been particularly influential in this shift: MacIntyre, Gregersen, and Mercer (2019) proposed a research agenda that treats learners' and teachers' well-being, enjoyment, and resilience as legitimate objects of empirical study alongside anxiety and other negative states, while Dewaele, Chen, Padilla, and Lake (2019) trace how this positive-psychological turn has reshaped both theory and classroom practice in language education. Within this broader movement, several studies converge on the idea that teacher emotion and teacher cognition are mutually constitutive rather than separate domains: Shi (2021) synthesizes evidence showing that a teacher's emotional state interacts with beliefs, attention, and decision-making to shape pedagogical practice, and that motivation is among the variables most consistently affected by this interaction.

A second cluster of research foregrounds the regulatory dimension of teacher emotion. Greenier, Derakhshan, and Fathi (2021) demonstrate, in a comparative study of British and Iranian English-language teachers, that the ability to regulate one's emotional responses is closely tied to psychological well-being and sustained work engagement; teachers who could not manage frustration reported lower engagement over time. Complementing this, Wang, Derakhshan, and Zhang (2021) review the trajectory of positive-psychology research in language teaching and argue that enjoyment and other positive emotions function as buffers against the corrosive effects of frustration, while Xie and Derakhshan (2021) catalog interpersonal communication behaviors, such as immediacy and rapport-building, through which teachers can actively counteract classroom frustration. A further strand examines motivation directly: Pishghadam, Derakhshan, Jajarmi, Tabatabaee Farani, and Shayesteh (2021) show that supportive, encouraging teacher behavior correlates with active rather than passive learner motivation, suggesting that the emotional tone set by the teacher partly determines whether learners respond to difficulty with renewed effort or with withdrawal.

Finally, a smaller but conceptually important line of inquiry treats frustration not merely as an obstacle but as a potential developmental resource. Yang, Shu, and Yin (2021) trace the emotional trajectories of EFL teachers across career stages and show that episodes of frustration, when interpreted reflectively, can prompt identity reconstruction and professional growth rather than simple attrition; their study title, borrowed from a participant's own words, captures the idea that frustration can, under the right conditions, drive rather than derail development. Taken together, this literature suggests that motivation and frustration should not be modeled as isolated,

opposite states, but as dynamically linked phases of the same emotional process that unfolds across a lesson, a semester, or a career, and that the outcome of this process depends heavily on how well emotions are recognized and regulated by both teachers and institutions (Mercer, 2020).

Building on the reviewed literature, this study approaches motivation and frustration in EFL teaching as two interacting emotional processes that unfold at three levels: the learner, the teacher, and the classroom as a shared emotional environment. At the learner level, motivation in EFL settings is best understood not as a fixed trait but as a fluctuating state shaped by perceived progress, relevance of tasks, and the quality of interaction with the teacher (Pishghadam et al., 2021). When learners repeatedly encounter tasks that exceed their current competence without adequate scaffolding, the resulting frustration tends to narrow their willingness to communicate, increase avoidance of speaking tasks, and, over time, erode the very motivation that initially brought them to the language. Crucially, frustration in this context is not simply the absence of motivation; it is an active emotional signal that something in the task-learner fit has failed, and it demands a pedagogical response rather than mere tolerance.

At the teacher level, the same dynamic operates with different stakes. Teachers' motivation to invest emotional and intellectual energy in lesson preparation, feedback, and relationship-building is itself vulnerable to institutional and interpersonal sources of frustration, including rigid curricula, large classes, and limited administrative support (Alzaanin, 2021). The evidence reviewed above indicates that teachers who possess stronger emotion-regulation skills are better able to convert episodes of frustration into adaptive responses, such as adjusting pacing or seeking new materials, rather than into withdrawal or cynicism (Greenier et al., 2021). This suggests that teacher training programs should treat emotional regulation as a professional competency on a par with methodological knowledge, since a teacher's capacity to remain motivated under pressure directly shapes the emotional climate that learners experience.

At the classroom level, motivation and frustration function as contagious, co-constructed states rather than as private, individual experiences. A teacher's visible enthusiasm, patience, and responsiveness to error tend to be mirrored by learners' willingness to take risks, whereas visible teacher frustration, even when unintentional, can be read by learners as evidence that a task or their own performance is inadequate, compounding rather than resolving the learners' own frustration (Shi, 2021; Xie & Derakhshan, 2021). This reciprocal amplification effect helps explain why classroom-level interventions, such as varying task difficulty, normalizing error as part of the learning process, and building consistent rapport, have a disproportionately large impact on sustaining motivation: they interrupt the feedback loop through which one party's frustration escalates the other's.

The findings further indicate that frustration is not uniformly detrimental. Following Yang, Shu, and Yin (2021), frustration can be reframed as productive when it is met with reflective processing rather than suppression or avoidance: a teacher who

treats a frustrating lesson as diagnostic information, rather than as a personal failure, is more likely to adapt practice and to model this same resilient stance for learners. In this sense, the relationship between motivation and frustration is better represented as cyclical rather than oppositional: sustained motivation lowers the frequency and intensity of frustration, but well-processed episodes of frustration can, in turn, regenerate motivation by producing a renewed and more realistic sense of progress. This reframing has direct implications for classroom practice: rather than aiming to eliminate frustration entirely, an unrealistic and possibly counterproductive goal, EFL pedagogy should aim to keep frustration within a manageable range and to equip both teachers and learners with strategies for interpreting it constructively.

This paper has argued that motivation and frustration are not opposite, independent emotional states in EFL teaching but interdependent phases of a single affective process operating simultaneously at the learner, teacher, and classroom levels. The reviewed research converges on several practical implications: teacher-training curricula should explicitly address emotional regulation and positive-psychology-informed strategies, not only classroom-management techniques; task design should attend to the fit between learner competence and task difficulty in order to keep frustration within a productive range; and institutions should recognize that sustaining teacher motivation is a structural, not only a personal, responsibility, since teacher frustration born of workload or lack of support propagates into the classroom's emotional climate.

Several directions for further research follow from this analysis. Longitudinal and mixed-methods studies are needed to trace how motivation-frustration cycles evolve across a full academic term or across different stages of a teacher's career, extending the trajectory-based approach used by Yang, Shu, and Yin (2021) to broader and more diverse EFL contexts. Comparative research across educational systems and cultural settings would help determine which regulatory strategies generalize and which are context-specific. Finally, further work should explore how digital and blended learning environments reshape the emotional contagion effects described here, since the reduced immediacy of online interaction may alter both how frustration is expressed and how motivation is sustained. Addressing these questions would allow the field to move from describing the motivation-frustration relationship toward designing evidence-based interventions that make language classrooms more emotionally sustainable for teachers and learners alike.

References

1. Alzaanin, E. I. (2024). Capturing the emotional experiences of English as a foreign language university teachers: A critical perspective. Language Teaching Research, 28(3), 931–947. https://doi.org/10.1177/13621688211012863
2. Bigelow, M. (2019). (Re)considering the role of emotion in language teaching and learning. The Modern Language Journal, 103(2), 515–544. https://doi.org/10.1111/modl.12569

3. Dewaele, J.-M., Chen, X., Padilla, A. M., & Lake, J. (2019). The flowering of positive psychology in foreign language teaching and acquisition research. Frontiers in Psychology, 10, 2128. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02128
4. Dörnyei, Z. (2020). Innovations and challenges in language learning motivation. London; New York, NY: Routledge.
5. Greenier, V., Derakhshan, A., & Fathi, J. (2021). Emotion regulation and psychological well-being in teacher work engagement: A case of British and Iranian English language teachers. System, 97, 102446. https://doi.org/10.1016/j.system.2020.102446
6. MacIntyre, P. D., Gregersen, T., & Mercer, S. (2019). Setting an agenda for positive psychology in SLA: Theory, practice, and research. The Modern Language Journal, 103(1), 262–274. https://doi.org/10.1111/modl.12544
7. Mercer, S. (2020). The wellbeing of language teachers in the private sector: An ecological perspective. Language Teaching Research, 1–24. https://doi.org/10.1177/1362168820973510
8. Pishghadam, R., Derakhshan, A., Jajarmi, H., Tabatabaee Farani, S., & Shayesteh, S. (2021). Examining the role of teachers' stroking behaviors in EFL learners' active/passive motivation and teacher success. Frontiers in Psychology, 12, 707314. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.707314
9. Shi, Y. (2021). The interactive effect of EFL teachers' emotions and cognitions on their pedagogical practices. Frontiers in Psychology, 12, 811721. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.811721
10. Wang, Y., Derakhshan, A., & Zhang, L. J. (2021). Researching and practicing positive psychology in second/foreign language learning and teaching: The past, current status and future directions. Frontiers in Psychology, 12, 731721. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.731721
11. Xie, F., & Derakhshan, A. (2021). A conceptual review of positive teacher interpersonal communication behaviors in the instructional context. Frontiers in Psychology, 12, 708490. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.708490
12. Yang, S., Shu, D., & Yin, H. (2021). "Frustration drives me to grow": Unraveling EFL teachers' emotional trajectory interacting with identity development. Teaching and Teacher Education, 105, 103420. https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103420

DEVELOPING FUTURE PRESCHOOL TEACHERS' PROFESSIONAL CREATIVITY THROUGH INDIVIDUALIZED AND DIGITAL LEARNING TECHNOLOGIES

Arslonova Gulsora Kurbonovna
Senior Lecturer
Department of Preschool Education Methods
Tashkent University of Applied Sciences

Abstract. The article examines the pedagogical conditions, methods and digital tools that support the development of professional creativity among future preschool teachers in an individualized learning environment. Professional creativity is interpreted as an integrated capacity that combines pedagogical knowledge, flexible thinking, reflective self-regulation, digital competence and the ability to design original solutions for real educational situations. The study is based on theoretical analysis, comparison, pedagogical observation, modelling and generalization of educational practice. Particular attention is paid to differentiated tasks, project-based learning, case analysis, digital portfolios, microteaching and reflective assessment. A structural model consisting of motivational-value, cognitive, operational-creative and reflective-evaluative components is proposed. The article argues that individualized learning becomes effective when it is supported by diagnostic goal-setting, variable learning trajectories, collaborative activity, timely feedback and purposeful use of digital technologies. The proposed recommendations may be applied in higher education programmes preparing preschool education specialists.

Keywords: professional creativity, future preschool teacher, individualized learning, digital pedagogy, project-based learning, reflective practice, pedagogical design, higher education.

The modernization of higher pedagogical education requires a transition from the reproduction of ready-made methodological prescriptions to the preparation of teachers capable of independently designing, testing and improving educational solutions. This requirement is especially significant in preschool education, where the teacher constantly works with changing developmental needs, emotional reactions, family expectations and diverse cultural contexts. Consequently, professional readiness can no longer be reduced to the possession of subject knowledge and a set of standard teaching techniques. It must include creativity, adaptability, responsible decision-making and the ability to reflect on the consequences of pedagogical actions.

Creativity in teacher education should not be understood only as artistic talent or spontaneous originality. It is a professional quality that enables a future teacher to identify a pedagogical problem, generate several possible solutions, select an appropriate strategy, adapt materials to children's individual characteristics and evaluate the result. Torrance associated creativity with fluency, flexibility, originality

and elaboration of ideas [2,22]. Amabile demonstrated that creative performance depends not only on personal ability but also on motivation and the social environment in which activity takes place [3,115]. These positions are directly relevant to the training of future preschool teachers because their creative activity develops through purposeful educational tasks, cooperation and feedback.

Individualized learning provides favourable conditions for this process. It allows the content, pace, complexity and form of learning activity to be adjusted to students' readiness, interests and professional goals. Differentiation does not imply lowering academic requirements; rather, it creates several pathways toward common learning outcomes [4,19]. When individualized learning is combined with digital tools, students gain access to flexible resources, interactive tasks, online collaboration, self-assessment instruments and electronic portfolios. However, technology itself does not automatically produce creativity. Its pedagogical value depends on the quality of task design, the degree of student autonomy and the presence of reflective dialogue.

The purpose of this article is to substantiate the pedagogical conditions and methods for developing the professional creativity of future preschool teachers through individualized and digital learning technologies. The research tasks are: to clarify the structure of professional creativity; to identify effective teaching methods; to propose an integrated pedagogical model; and to formulate practical recommendations for higher education instructors.

The study employed theoretical analysis of pedagogical and psychological literature, comparative analysis of approaches to creativity and teacher education, pedagogical observation, modelling, and generalization of teaching practice. The methodological basis of the research combines the activity-based, competence-based, learner-centred and reflective approaches. The activity-based approach views creativity as a quality formed through meaningful action rather than passive knowledge acquisition. The competence-based approach focuses on the ability to apply knowledge in professional situations. The learner-centred approach recognizes individual differences in motivation, pace and learning strategies. The reflective approach emphasizes self-analysis and conscious improvement of pedagogical decisions.

The object of the research is the professional preparation of future preschool teachers in higher education. The subject is the process of developing their professional creativity through individualized and digital learning technologies. The analysis focused on educational practices that require students to solve open-ended problems, create pedagogical products, explain their choices, receive feedback and revise their work. Such practices include case analysis, project work, microteaching, digital storytelling, lesson design, electronic portfolios and peer review.

Professional creativity is an integrated formation consisting of interrelated components. The motivational-value component includes interest in the teaching profession, openness to innovation, responsibility for child development and willingness to improve one's own practice. Motivation is essential because even a student with strong cognitive abilities may avoid creative risk if the educational environment punishes mistakes or encourages only one correct answer. Self-

determination theory emphasizes that autonomy, competence and relatedness strengthen internally motivated learning [5,68]. Therefore, the teacher educator should create conditions in which students can make meaningful choices, experience progress and cooperate with others.

The cognitive component includes knowledge of child development, preschool pedagogy, teaching methods, educational technologies and the principles of safe and ethical digital practice. Creative decisions are not opposed to knowledge; they are based on deep understanding. A student can adapt a game, story, visual aid or digital resource effectively only when the developmental purpose of the activity is clear. Vygotsky's concept of the zone of proximal development shows that instruction should be oriented not only toward what the learner can already do independently but also toward emerging abilities supported through guidance [6,86]. This principle is relevant both to children and to university students learning to become teachers.

The operational-creative component includes problem identification, idea generation, flexible planning, pedagogical improvisation, design of learning materials and the ability to use digital tools for educational purposes. It also involves transforming theoretical knowledge into practical action. The TPACK framework underlines that meaningful technology integration requires the interaction of technological, pedagogical and content knowledge [7,1028]. Thus, future preschool teachers should not merely learn how to operate digital platforms; they should learn when, why and under what developmental conditions a particular tool is pedagogically appropriate.

The reflective-evaluative component includes self-observation, analysis of results, openness to feedback and the ability to revise one's decisions. Reflection turns experience into professional learning. Schön described professional practice as a process of reflection in and on action [8,68]. In teacher education, this means that students should explain what they planned, what happened during implementation, why difficulties appeared and what they would change in the next attempt.

The first condition is diagnostic and individualized goal-setting. At the beginning of a module, students' prior knowledge, professional interests, digital skills and preferred forms of activity should be identified. Diagnosis may include short questionnaires, practical tasks, self-assessment scales and interviews. On this basis, the instructor can offer tasks of different complexity while preserving common learning outcomes. One student may design a traditional didactic game, another may create a digital version, and a third may develop a family-involvement scenario. Individual choice increases responsibility and makes the task personally meaningful.

The second condition is a problem-rich educational environment. Creativity develops when students encounter situations that do not have a single predetermined answer. Cases may include adapting an activity for a shy child, supporting a multilingual group, organizing play with limited resources, resolving a conflict with parents or integrating digital content without increasing passive screen time. Problem-based learning encourages learners to connect theoretical concepts with real

professional decisions [9,12]. The instructor's role is to guide analysis through questions rather than immediately provide a finished solution.

The third condition is the combination of individual and collaborative work. Individualization should not isolate students. Creative ideas are often improved through discussion, comparison and peer critique. Collaborative learning enables students to see alternative perspectives, distribute roles and justify pedagogical choices. At the same time, each student should have an individual responsibility within group projects so that participation is visible and assessable.

The fourth condition is a psychologically safe climate. Students will not propose original ideas if they fear ridicule or excessive punishment for unsuccessful attempts. The educational environment should normalize revision and treat mistakes as sources of information. Feedback needs to be specific, respectful and focused on the quality of the pedagogical product rather than on the personality of the student. Formative assessment is especially valuable because it helps learners understand the gap between current and desired performance and plan the next step [10,81].

The fifth condition is purposeful digital integration. Digital tools should expand opportunities for design, communication, visualization and reflection. Useful formats include digital concept maps, interactive presentations, video-based microteaching, online discussion boards, electronic portfolios and collaborative documents. The use of technology should remain developmentally and ethically justified. UNESCO emphasizes that educational technology must serve human-centred and inclusive learning goals rather than replace pedagogical judgment [11,30].

Project-based learning is one of the most productive methods for developing professional creativity. A project requires students to define a problem, plan activity, collect information, create a product and present the result. Examples include designing a thematic week for preschool children, preparing a set of inclusive games, developing a parent-guidance booklet or producing a digital story that supports speech development. The project should conclude with reflection on the relationship between the intended goal and the achieved outcome.

Case-based learning develops situational thinking. A well-designed case contains incomplete or conflicting information and requires students to justify their decisions. For example, students may analyse why a planned group activity did not engage children, propose alternative strategies and predict possible risks. The value of the case lies not in finding one "correct" answer but in comparing solutions according to clear pedagogical criteria.

Microteaching allows future teachers to practise a short fragment of professional activity in a controlled setting. Students conduct a 7–10 minute activity, record it on video, receive peer and instructor feedback, and then repeat the task after revision. Video makes otherwise invisible aspects of teaching observable: speech pace, questioning techniques, emotional tone, use of visual materials and response to unexpected behaviour. This method combines practice, feedback and reflection in a compact cycle.

Digital storytelling is particularly suitable for preschool education. Students create short multimedia stories combining text, image, sound and narration. The task develops pedagogical imagination, narrative competence and digital literacy. However, the quality criteria should include developmental appropriateness, linguistic clarity, emotional safety, accessibility and the active involvement of children. A technically attractive product cannot be considered professionally creative if it lacks pedagogical purpose.

The electronic portfolio supports continuity in creativity development. It may include lesson plans, photographs of materials, video fragments, reflective notes, peer feedback and revised versions of assignments. The portfolio demonstrates progress over time rather than a single result. Zimmerman noted that self-regulated learners set goals, select strategies, monitor performance and evaluate outcomes [12,66]. Therefore, portfolio tasks should include not only products but also evidence of planning and self-evaluation.

Based on the analysis, a four-stage model is proposed. The diagnostic-motivational stage identifies students' readiness and establishes personal goals. The cognitive-design stage provides theoretical foundations and introduces methods for analysing educational problems. The practical-creative stage engages students in projects, cases, microteaching and digital product development. The reflective-evaluative stage includes self-assessment, peer review, instructor feedback and revision. The stages are cyclical: reflection on one task becomes the basis for setting a new goal.

Stage	Main purpose	Student activity	Expected result
Diagnostic-motivational	Identify needs and goals	Self-assessment, interviews, entry tasks	Individual learning trajectory
Cognitive-design	Build conceptual and methodological knowledge	Analysis, modelling, task design	Reasoned pedagogical choices
Practical-creative	Apply knowledge in variable situations	Projects, cases, microteaching, digital production	Original pedagogical products
Reflective-evaluative	Assess and improve performance	Portfolio, peer review, self-reflection, revision	Sustainable professional growth

Assessment within this model should be criterion-referenced. Recommended criteria include pedagogical relevance, originality, flexibility, feasibility, child-centredness, ethical and safe use of technology, quality of reflection and ability to revise the product. Creativity should not be assessed only by novelty. A highly original idea that does not correspond to children's age or educational needs cannot be considered professionally effective. The best result combines novelty with pedagogical usefulness and responsibility.

CONCLUSION

The professional creativity of future preschool teachers is a necessary component of modern pedagogical competence. It is formed through the interaction of motivation,

knowledge, practical creativity and reflection. Individualized learning makes it possible to take account of students' readiness and professional interests, while digital technologies expand opportunities for design, cooperation, visualization and self-assessment. Their effectiveness, however, depends on pedagogically meaningful tasks and systematic feedback.

The proposed model demonstrates that creativity development should be organized as a continuous cycle: diagnosis, knowledge construction, practical creation, evaluation and revision. Project-based learning, case analysis, microteaching, digital storytelling and electronic portfolios are especially effective when students are required to justify their decisions and improve their products. The main outcome is not a collection of unusual ideas, but the formation of a future teacher who can responsibly create, test and refine educational solutions in response to the real needs of preschool children.

References

1. Arslonova, G. K. (2025). The practical status of developing students' professional creativity in an individual educational environment. Educator Insights: A Journal of Teaching Theory and Practice, 1(2), 18–27.
2. Torrance, E. P. (1974). Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-Technical Manual. Lexington, MA: Personnel Press, pp. 8–32.
3. Amabile, T. M. (1996). Creativity in Context. Boulder, CO: Westview Press, pp. 107–136.
4. Tomlinson, C. A. (2014). The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners (2nd ed.). Alexandria, VA: ASCD, pp. 17–35.
5. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological Inquiry, 11(4), 227–268.
6. Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 79–91.
7. Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054.
8. Schön, D. A. (1983). The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. New York: Basic Books, pp. 49–69.
9. Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 1(1), 9–20.
10. Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. Review of Educational Research, 77(1), 81–112.
11. UNESCO. (2021). Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education. Paris: UNESCO, pp. 28–35.
12. Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. Theory Into Practice, 41(2), 64–70.

13. Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). Effective Teacher Professional Development. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute, pp. 1–12.
14. OECD. (2019). OECD Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass 2030. Paris: OECD Publishing, pp. 4–16.
15. Arslonova, G. K., & Xafizova, M. M. (2024). Bola shaxsining rivojlanishida oilaviy muhitning tarbiyaga ta'siri. Academic Research in Educational Sciences, 1, 159–161.
16. Arslonova, G. K., & Xafizova, M. M. (2024). Maktabgacha yoshdagi bola o'yin faoliyatining xususiyatlari. Academic Research in Educational Sciences, 1, 156–158.

ЕТИКЕТ КРИЗОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ В СУЧАСНОМУ УКРАЇНСЬКОМУ ДІЛОВОМУ ДИСКУРСІ: ПРАГМАТИЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА МОВЛЕННЄВІ ФОРМУЛИ

Мунтян Олександр Олександрович
к. філол. н., доцент
Кафедра філології та перекладу
Київський національний університет технологій та дизайну

Сучасний український бізнес функціонує в умовах постійних викликів і нестабільності, що значно підвищує роль кризової комунікації. Економічні труднощі, наслідки воєнного стану, реорганізації компаній, фінансові проблеми, скорочення штату та інші кризові ситуації вимагають від бізнесу не лише оперативного реагування, а й бездоганного дотримання норм ділового етикету. Саме етикет кризової комунікації стає важливим інструментом захисту репутації, збереження довіри стейкхолдерів і мінімізації негативних наслідків для компанії. Він органічно поєднує стратегічне управління інформацією з високими стандартами професійної етики, делікатності та соціальної відповідальності.

Кризова комунікація в українському діловому середовищі вирізняється особливою делікатністю, оскільки потребує постійного балансування між необхідністю прозорості, захистом інтересів компанії та повагою до емоційного стану адресатів. На відміну від рутинного ділового спілкування, кризовий формат вимагає максимальної швидкості, точності та емпатії. Будь-яке порушення етичних норм у таких умовах може призвести до серйозних репутаційних втрат, поширення негативної інформації та руйнування довгострокових партнерських відносин.

Основними принципами етикету кризової комунікації є правдивість, своєчасність, послідовність, емпатія та конструктивність. У кризових повідомленнях важливо дотримуватися стриманого, але водночас людяного тону, уникаючи як надмірної формальності, яка може сприйматися як

байдужість, так і зайвої емоційності. Прикладами ефективних етикетних формул можуть слугувати висловлювання, що поєднують визнання проблеми та емпатію: «Ми усвідомлюємо стурбованість наших клієнтів і партнерів у зв'язку з поточною ситуацією та щиро просимо вибачення за спричинені незручності», «Розуміємо, наскільки важким є цей період для нашої команди, і висловлюємо щире співчуття всім, кого торкнулися кадрові зміни». Для запевнення у діях та відповідальності доречні такі формулювання: «Компанія вже вживає всіх необхідних заходів для стабілізації ситуації та інформуватиме вас про кожен етап вирішення проблеми», «Незважаючи на складнощі, ми повністю зберігаємо взяті на себе зобов'язання та продовжуємо виконувати контракти в повному обсязі». Подяку та підтримку довіри добре передають фрази: «Дякуємо за ваше розуміння та довіру в цей непростий час. Ваша підтримка допомагає нам рухатися вперед», «Цінуємо партнерство з вами та готові надати всю необхідну інформацію та допомогу». Завершення повідомлення з перспективою можна здійснити за допомогою формул: «Віримо, що спільними зусиллями ми швидко подолаємо ці труднощі та вийдемо на новий рівень співпраці», «Бажаємо всім нам витримки, сил і якнайшвидшого повернення до стабільної роботи».

Особливої уваги потребує вибір каналів комунікації. У кризових ситуаціях пріоритетними залишаються офіційні листи, заяви на сайті компанії, прямі відеозвернення керівництва до колективу та персональні повідомлення ключовим партнерам. У корпоративних месенджерах тон повідомлень має бути професійним, але теплим, тоді як у публічних заявах він повинен бути максимально виваженим і фактологічним. Важливим елементом є своєчасне визнання проблеми, демонстрація конкретних кроків щодо її вирішення та чітке окреслення перспектив.

Аналіз сучасної практики показує, що ефективний етикет кризової комунікації ґрунтується на комплексному застосуванні прагматичних стратегій, зокрема стратегії визнання реальності, стратегії емпатії, стратегії відповідальності, стратегії єдності та стратегії перспективи. Саме таке комплексне використання цих стратегій дозволяє не лише пом'якшити негативні наслідки кризи, а в багатьох випадках перетворити її на можливість зміцнення репутації компанії як надійного, відповідального та стабільного партнера.

Формування відповідних компетенцій у сфері етикету кризової комунікації є одним із актуальних завдань сучасної вищої школи. Підготовка майбутніх фахівців повинна включати глибокий аналіз реальних кейсів українських і міжнародних компаній, симуляційні вправи, рольові ігри з моделюванням різноманітних кризових ситуацій, а також створення власного портфоліо кризових повідомлень різних типів. Окрему увагу необхідно приділяти розвитку емоційного інтелекту, вмінню працювати в умовах невизначеності та здатності адаптувати комунікацію до потреб різних цільових аудиторій.

Таким чином, етикет кризової комунікації є невід'ємною складовою сучасної ділової культури в Україні. Він відображає рівень зрілості бізнес-середовища, його соціальну відповідальність і готовність до відкритої та чесної

взаємодії навіть у найскладніших умовах. Опанування принципів і стратегій кризового етикету сприяє не тільки ефективному подоланню криз, а й загальному підвищенню конкурентоспроможності українського бізнесу на міжнародній арені.

Список використаних джерел

1. Мунтян, О. О. (2023). Риторика ділового спілкування. Актуальні питання гуманітарних наук, 66(2), 151–154.
2. Мунтян, О. (2023). Способи мовленнєвого впливу під час ділового спілкування. Наукові праці Міжнар. академії управління персоналом. Філологія, 2(7), 58–63.
3. Мунтян О. О., Чень Ван (2026) Мовні стратегії в українському професійному мовленні: когнітивно-дискурсивний підхід. Вісник науки та освіти: журнал. № 6(48). С. 541 – 551
4. Шевчук С. Українська мова для державних службовців: курс для підготовки до атестації: навч. посіб. Київ: Алерта, 2023. С. 268 – 270.

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ МОБІЛЬНОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ

Ляховська Юлія
доц., доцент
Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна

Сучасні трансформації освітнього простору зумовлюють необхідність підготовки майбутнього вчителя іноземної мови як фахівця, здатного швидко адаптуватися до змін, ефективно діяти в різних професійних ситуаціях, оновлювати власні знання, використовувати інноваційні педагогічні технології та здійснювати професійну діяльність у багатомовному й багатокультурному середовищі. У цьому контексті особливої актуальності набуває проблема формування професійної мобільності майбутнього вчителя іноземної мови, оскільки саме вона забезпечує готовність педагога до професійного розвитку, зміни освітніх умов, участі в академічній співпраці та організації ефективної комунікації зі здобувачами освіти.

Професійна мобільність майбутнього вчителя іноземної мови є важливою складовою його професійної компетентності. Вона передбачає здатність гнучко реагувати на зміни в освітньому процесі, орієнтуватися в сучасних вимогах до навчання іноземних мов, адаптувати методи й форми роботи до потреб здобувачів освіти, використовувати цифрові ресурси, працювати в міжкультурному середовищі та постійно вдосконалювати власну педагогічну майстерність. У наукових дослідженнях професійна мобільність майбутнього вчителя

розглядається як інтегральна якість особистості й діяльності здобувача вищої педагогічної освіти, що формується у процесі професійної підготовки та виявляється у здатності до саморозвитку й ефективної діяльності в умовах змін [1].

Актуальність формування професійної мобільності посилюється тим, що сучасна мовна освіта перебуває в умовах постійного оновлення. Змінюються навчальні програми, підходи до оцінювання результатів, засоби комунікації, освітні платформи, вимоги до цифрової грамотності та очікування здобувачів освіти. Майбутній учитель іноземної мови має бути готовим не лише до традиційного викладання граматики, лексики, читання чи письма, а й до організації інтерактивної, проєктної, дистанційної, змішаної та міжкультурно зорієнтованої навчальної діяльності. У таких умовах професійна мобільність дає змогу педагогу використовувати зміни як ресурс для професійного зростання.

Формування професійної мобільності майбутнього вчителя іноземної мови доцільно розглядати як багатокомпонентний процес. Його зміст охоплює мотиваційний, когнітивний, діяльнісний, комунікативний, цифровий і рефлексивний компоненти. Мотиваційний компонент передбачає позитивне ставлення до майбутньої професії, прагнення до саморозвитку та готовність до навчання впродовж життя. Когнітивний компонент охоплює знання про сучасні методики навчання іноземних мов, міжкультурну комунікацію, професійну етику та інноваційні технології. Діяльнісний компонент виявляється в умінні практично застосовувати набуті знання, добирати доцільні методи навчання, планувати заняття й адаптувати навчальні матеріали до різних освітніх ситуацій.

Особливо важливим для майбутнього вчителя іноземної мови є комунікативний компонент професійної мобільності. Він передбачає здатність до ефективної взаємодії зі здобувачами освіти, колегами, батьками, адміністрацією закладу освіти, представниками професійної спільноти та учасниками міжнародних освітніх проєктів. Учитель іноземної мови постійно працює в просторі комунікації, тому його професійна мобільність безпосередньо залежить від уміння змінювати стиль спілкування відповідно до ситуації, використовувати іноземну мову як засіб професійної взаємодії, розуміти культурні відмінності та підтримувати конструктивний діалог.

Важливим чинником формування професійної мобільності є цифровізація освіти. Сучасний майбутній учитель іноземної мови має володіти цифровими інструментами, уміти використовувати онлайн-платформи, інтерактивні дошки, електронні словники, відеоресурси, мобільні застосунки, системи дистанційного навчання та засоби онлайн-комунікації. Цифрова компетентність розширює професійні можливості педагога, дає змогу організовувати навчання в різних форматах, підтримувати індивідуальну траєкторію здобувачів освіти й забезпечувати зворотний зв’язок. Європейські підходи до мовної освіти акцентують увагу на необхідності формування здатності до онлайн-взаємодії, медіації, співпраці та використання мови в різних комунікативних ситуаціях [2].

Міжкультурний аспект також є важливою умовою професійної мобільності. Учитель іноземної мови має бути готовим працювати з культурно різноманітним

змістом, пояснювати здобувачам освіти особливості мовленнєвої поведінки представників інших культур, формувати толерантність, відкритість і здатність до діалогу. Професійно мобільний педагог не обмежується статичним набором знань про мову, а постійно розширює власний культурний кругозір, використовує автентичні матеріали, залучає здобувачів освіти до порівняння культурних явищ і створює умови для практичного використання іноземної мови. Міжнародні та кроскультурні освітні практики розглядаються як важливий ресурс підготовки майбутніх учителів іноземної мови до роботи в різноманітному освітньому середовищі [3].

Формування професійної мобільності майбутнього вчителя іноземної мови потребує використання активних та інтерактивних методів навчання. Доцільними є дискусії, рольові ігри, кейс-метод, мікровикладання, педагогічні симуляції, проєктна діяльність, аналіз професійних ситуацій, підготовка фрагментів уроків, робота з автентичними матеріалами та виконання творчих завдань. Такі методи допомагають здобувачам вищої освіти набувати досвіду дії в різних умовах, швидко орієнтуватися в педагогічній ситуації, обирати оптимальні рішення, працювати в команді та оцінювати результат власної діяльності.

Особливе значення має педагогічна практика, оскільки саме вона забезпечує зв’язок між теоретичною підготовкою та реальною професійною діяльністю. Під час практики майбутній учитель іноземної мови має змогу проводити уроки, використовувати різні методи навчання, адаптувати матеріали до рівня здобувачів освіти, працювати з навчальною документацією, спостерігати за діяльністю досвідчених педагогів і аналізувати власні професійні дії. Практика сприяє розвитку гнучкості, самостійності, відповідальності та здатності до професійної адаптації.

Не менш важливим компонентом професійної мобільності є рефлексія. Майбутній учитель іноземної мови повинен уміти аналізувати власний досвід, визначати сильні й слабкі сторони професійної підготовки, оцінювати ефективність використаних методів, виявляти труднощі та планувати шляхи самовдосконалення. Рефлексія може здійснюватися через ведення педагогічного щоденника, самоаналіз проведених занять, взаємооцінювання, обговорення педагогічних ситуацій, складання професійного портфоліо та аналіз результатів практики. Такі вміння сприяють формуванню здатності до навчання впродовж життя, що є однією з основ професійної мобільності.

Отже, формування професійної мобільності майбутнього вчителя іноземної мови є важливим завданням сучасної педагогічної освіти. Професійна мобільність охоплює готовність до саморозвитку, адаптації, комунікативної гнучкості, цифрової активності, міжкультурної взаємодії та практичного застосування знань у змінних умовах освітнього процесу. Ефективність її формування залежить від поєднання теоретичної підготовки, інтерактивних методів навчання, цифрових ресурсів, педагогічної практики, міжнародного й міжкультурного досвіду та системної рефлексії. Майбутній учитель іноземної мови має бути готовим не лише виконувати професійні обов’язки в стабільних

умовах, а й активно реагувати на освітні зміни, оновлювати власну діяльність і забезпечувати якісне навчання іноземної мови в сучасному динамічному освітньому середовищі.

Список використаних джерел

1. Єгорова О. В. Формування професійної мобільності майбутніх учителів у процесі навчання іноземних мов у сучасних ЗВО. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. 2021. № 74. С. 164–168. URL: https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f5e17316-a6f0-4ed1-9d8d-0a0c11f21442/content
2. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment. Companion Volume. Strasbourg : Council of Europe Publishing, 2020. 278 p. URL: https://rm.coe.int/common-european-framework-of-reference-for-languages-learning-teaching/16809ea0d4
3. Çelik S. Teaching without boundaries: How global experiences shape future English language educators. International Journal of Professional Research. 2025. Vol. 3, № 1. P. 1–14. URL: https://www.ijopr.com/article/teaching-without-boundaries-how-global-experiences-shape-future-english-language-educators-15909

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.027.313-318

CONCEPTUALIZATION OF DIGITAL INCLUSION

Turubarova Anastasiia
Doctor of Psychological Sciences, Professor
Department of Psychology and Social Work
Smoliak Volodymyr
Ph.D. in Pedagogy
Department of Special Education
Khortytsia National Academy, Ukraine

The digital transformation of contemporary society is rapidly reshaping economic, social, and political processes, fundamentally altering the ways people live, communicate, and work. Digital technologies are increasingly penetrating all spheres of social life – from public administration and healthcare to education, employment, and everyday service consumption – so that access to these technologies and the ability to use them effectively are becoming essential conditions for an individual's full participation in society. However, all-encompassing digitalization generates new challenges, foremost among them the risk of digital marginalization of certain population groups. Unequal access to technologies, disparities in digital literacy, and economic and infrastructural barriers mean that part of society – particularly older adults, residents of remote areas, persons with disabilities, and socioeconomically vulnerable groups – risks being left outside the digital space. Against this backdrop,

international scholarly thought has been actively rethinking the problem: instead of merely documenting the binary "digital divide," researchers are moving toward a comprehensive conceptualization of "digital inclusion." Whereas the notion of the "digital divide" primarily emphasized the dichotomy of having or not having access to technologies, the concept of "digital inclusion" encompasses a much broader set of dimensions – competency-based, behavioral, institutional, social, and psychological – treating inclusion as a multilevel, dynamic process. This epistemological shift is of fundamental theoretical and practical significance for building a society grounded in the principles of inclusion and equality. It not only enriches scholarly understanding of the nature of digital inequality but also sets new benchmarks for public policy aimed at ensuring a fair, universally accessible, and human-centered digital environment.

The issue of digital inclusion is being actively developed by international scholars and institutions. While foundational principles were laid down in the classic works of J. van Dijk (the sequential access model), research in recent years has significantly expanded this concept. A substantial contribution to contemporary conceptualizations of digital inclusion has been made by Y. Kim and C.-Y. Jang [4], B. Ehimuan and co-authors [2], G. Djatmiko, O. Sinaga, and S. Pawirosumarto [1], N. Wendt-Lucas and co-authors [5], as well as F. Gottschalk and C. Weise [3].

For a long time, a technocentric approach dominated the scholarly literature, according to which overcoming digital inequality could be achieved simply by providing the population with computer equipment and internet connectivity. The contemporary paradigm, however, views digital inclusion as a multidimensional socio-technical construct.

In a recent study, Y. Kim and C.-Y. Jang propose a comprehensive framework for assessing digital inclusion based on three key dimensions: 1) physical access; 2) competencies/skills; and 3) effective use. The authors justify the relevance of this approach by noting that, despite the growing importance of digital inclusion, its conceptualization and measurement remain insufficiently developed in context-specific conditions, which creates a need for a framework model to index levels of digital inclusion. Each of the three dimensions in the proposed model is not homogeneous but is broken down into a set of subcategories and indicators. The key empirical finding is that, among the three characteristics of digital inclusion, access and use carry the greatest weight, whereas competence occupies the next most significant position. In other words, although digital literacy is a critically important precondition, it is basic access and the practical use of technologies to address everyday needs (for example, employment or obtaining services) that have the highest relative weight in shaping an inclusive digital environment [4].

The practical significance of this prioritization lies in a shift in public and institutional policy emphasis: rather than focusing exclusively on skills training, attention is redirected toward ensuring stable access and encouraging meaningful use of technologies. As the authors emphasize [4], these findings underscore the fundamental role of digital access and use in driving inclusive digital growth, offering a practical evaluative framework for ensuring equitable digital participation in diverse

contexts. Thus, this multidimensional (competency-based) approach captures a conceptual shift toward meaningful use – interaction with technologies that delivers tangible life benefits to the individual, rather than merely the formal presence of devices or abstract skills.

Another – institutional and legal – approach to digital inclusion is presented in works that link it to public governance and the provision of electronic public services. G. Djatmiko and co-authors [1] examine digital inclusion in the context of implementing e-government for marginalized communities, shifting the discussion from a purely technological plane to that of sustainable and equitable governance. Within this approach, digital inclusion emerges as a critical component of sustainable e-government, ensuring equal access to digital public services for all citizens. The researchers emphasize that a range of barriers hinders the realization of this principle: limited digital literacy, infrastructural gaps, and institutional obstacles restrain broad implementation, especially among marginalized population groups.

The central argument of the study is that overcoming digital exclusion cannot be reduced to technical provisioning. The authors explicitly stress that their results have direct practical implications for policy-makers designing inclusive and sustainable e-government services: governments need to move beyond simply deploying infrastructure and prioritize a human-centered digital policy that addresses gaps in accessibility, affordability, and digital literacy. Accordingly, the digitalization of public services without an inclusion dimension may not reduce but rather deepen existing social inequality, reproducing the “digital divide” at the institutional level. Therefore, an effective e-government model, the authors conclude, requires a comprehensive, multi-stakeholder approach: the study highlights the need for governments to adopt an inclusive, multi-stakeholder approach to e-government implementation, including long-term investments in accessibility, cybersecurity, and user trust. Concrete recommendations include integrating digital inclusion into national e-government strategies to ensure accessibility for marginalized groups, strengthening cross-sector partnerships among government, business, and civil society, and implementing accessibility standards on e-government platforms for users with disabilities and low levels of digital literacy.

Contemporary international scholarship also insists on applying an intersectional approach to conceptualizing the phenomenon, which helps overcome the limitations of one-dimensional interpretations of the digital divide. B. Ehimuan and co-authors [2], drawing on a comparative analysis of initiatives in the United States and African countries, demonstrate that digital exclusion never operates in isolation. The authors’ comparative perspective is methodologically productive, as juxtaposing the experience of an advanced economy with that of a developing region makes it possible to identify both universal patterns and context-specific factors that shape unequal access to digital opportunities. Such an approach enables a shift from a fragmented consideration of individual barriers to a holistic understanding of the structural nature of digital inequality.

The study’s core thesis is that digital exclusion is always layered onto other forms of social marginalization – geographic, economic, racial, or gender-based [2]. In line

with intersectional logic, these axes of inequality do not merely coexist; they mutually reinforce one another, producing a cumulative effect: an individual who simultaneously belongs to several marginalized groups faces not the sum of separate barriers but a qualitatively higher level of exclusion. This means that a policy aimed at addressing only one dimension of inequality (for instance, purely infrastructural) is doomed to remain ineffective if it ignores the complex interweaving of social factors. Consequently, digital inclusion is conceptualized as an "ecosystem," where infrastructure deployment must be integrated with financial support programs and local community development. The ecosystem metaphor is not incidental: it emphasizes the systemic, interconnected nature of digital inclusion components, whereby the absence or weakness of any element (affordable pricing, relevant content, community trust, local support) undermines the effectiveness of the entire system. Simple physical access to the internet, unaccompanied by affordability and community engagement, cannot ensure genuine digital participation. Thus, the intersectional approach reorients digital inclusion policy away from the technocratic logic of "connecting" and toward a comprehensive strategy that takes into account the social, economic, and cultural embeddedness of digital practices in specific communities.

A special place in contemporary models is occupied by the socio-psychological approach, which complements traditional technical and infrastructural interpretations of digital inclusion by focusing on individuals' subjective experience and emotional well-being. One of the key arenas for implementing this approach is education, where digital inclusion directly affects learners' motivation, self-esteem, and sense of equal opportunity. According to a report by the Organisation for Economic Co-operation and Development [3], digital inclusion in education requires the implementation of Universal Design principles.

This principle entails a shift from the reactive logic of adapting an already created environment to the proactive logic of designing from the outset, whereby the needs of different user groups are taken into account at the stage of developing educational resources, platforms, and methodologies. This approach is grounded in recognition of the natural variability of abilities, learning styles, and educational needs, and it seeks to minimize barriers for all participants in the educational process without exception. Importantly, inclusion is viewed not as occasional assistance to students with special educational needs, but as the primary design of a digital environment that is friendly to everyone. This conceptual reorientation has far-reaching implications for education policy: it removes the stigmatizing division between "typical" and "special" students and treats accessibility as a universal quality of the learning environment from which all participants benefit. Instead of creating separate "special" solutions for particular groups, Universal Design provides flexibility and multiple options for presenting information, interacting, and assessing learning, making education more effective for a wide range of learners – from persons with disabilities to those facing temporary or situational constraints.

In addition, the OECD conceptualizes digital inclusion through the lens of psychological well-being: equal access to digital benefits fosters a sense of belonging

and helps prevent social isolation [3]. In this way, digital inclusion is framed not only as a matter of functional capacity to use technologies but also as a factor in psycho-emotional health and social integration. A lack of access to the digital space in contemporary society implies not merely technological lag but also the risk of exclusion from social ties, educational opportunities, and channels of civic participation, which is especially acutely felt by vulnerable groups. Hence, a sense of belonging to the digital community emerges as an independent value and an indicator of the success of inclusive policy, while ensuring equal access takes on a distinct humanistic and preventive significance – as a means of counteracting social isolation and supporting individuals' psychological well-being.

The cognitive and linguistic accessibility approach is corroborated by regional European research. For example, a Nordregio Institute report (2025) on the Nordic countries emphasizes that digital inclusion in e-health and public services must necessarily include cognitive and linguistic accessibility [5]. Even under conditions of well-developed digital infrastructure and broad population coverage by services, there remain user groups for whom the critical barriers are not technical but cognitive and linguistic barriers that shape interaction with digital services. This finding is especially important in areas such as e-health and the provision of public services, where misunderstandings of an interface or instructions can have direct consequences for health, safety, and the exercise of basic citizens' rights. For this reason, cognitive accessibility (clarity and comprehensibility of information presentation, logical navigation, minimization of excessive cognitive load) and linguistic accessibility (adapting content for people with different levels of language proficiency) are essential conditions for effective and equitable digital interaction. Accordingly, inclusive design of digital interfaces and their adaptability for older adults or people with limited proficiency in the local language have become integral components of the theoretical construct [5].

Thus, the analysis of contemporary international scholarly sources makes it possible to conclude that theoretical understandings of digital inclusion have evolved substantially – from a narrow technocentric approach to a comprehensive socio-technical and legal perspective. Whereas previously overcoming digital inequality was largely reduced to providing the population with equipment and network access, the contemporary paradigm views digital inclusion as a complex, multilevel phenomenon that combines competency-based, institutional and legal, intersectional, and socio-psychological dimensions, as well as aspects of cognitive and linguistic accessibility.

The key conclusion is that effective digital inclusion requires a shift from fragmented, technocratic solutions to a coherent, human-centered policy built on the principles of fairness, universal accessibility, and recognition of the real diversity of needs across all population groups. It is precisely such an integrated approach that provides the theoretical and methodological foundation for building an inclusive digital environment and, more broadly, a society of equal participation, in which social cohesion and full participation of all members are ensured regardless of their individual characteristics and social status.

List of sources used

1. Djatmiko G. H., Sinaga O., Pawirosumarto S. Digital transformation and social inclusion in public services: A qualitative analysis of e-government adoption for marginalized communities in sustainable governance. Sustainability. 2025. Vol. 17, № 7. Art. 2908. DOI: https://doi.org/10.3390/su17072908.
2. Ehimuan B., Anyanwu A., Olorunsogo T., Akindote O. J., Abrahams T. O., Reis O. Digital inclusion initiatives: Bridging the connectivity gap in Africa and the USA – A review. International Journal of Science and Research Archive. 2024. Vol. 11, № 1. P. 488–501. DOI: https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.11.1.0061.
3. Gottschalk F., Weise C. Digital equity and inclusion in education: An overview of practice and policy in OECD countries : OECD Education Working Papers No. 299. Paris : OECD Publishing, 2023. DOI: https://doi.org/10.1787/7cb15030-en.
4. Kim Y., Jang C.-Y. Evaluating digital inclusion: A framework for indexing inclusive progress. Public Organization Review. 2025. Vol. 25, № 3. P. 1315–1332. DOI: https://doi.org/10.1007/s11115-025-00857-6.
5. Wendt-Lucas N., Berlina A., Vasilevskaya A. Digital inclusion in distance spanning health solutions: Insights from four model regions : Discussion Paper. Stockholm : Nordregio, 2025. URL: https://nordregio.org/publications/digital-inclusion-in-distance-spanning-health-solutions/ (дата звернення: 12.07.2026).

ALİ MƏKTƏB MÜƏLLİMİNİN KOMMUNİKATİV QABİLİYYƏTİNİ ARTIRAN PEDAQOJİ ÜNSİYYƏT ÜSLUBLARI

Əyubova Sevinc Əli
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,
Ümumi tarix və tarixin tədrisi texnologiyası kafedrası
müəllim

Xülasə

Elmi məqaldə ilkin olaraq tələbələrin auditoriyada dərs prosesini yaxşı qavraması və müsbət təhsil mühiti üçün müəllimin kommunikativ bacarığının olmasının vacibliyi fikri irəli sürülmüşdür. Ünsiyyət fəaliyyətin mühüm tərkib hissəsi, zəruri atributu olaraq göstərilmiş və müəllimlərin pedaqoji ünsiyyət mədəniyyətinə yiyələnmələrinin özünü də peşəkarlıqlıqla əlaqələndirmişdir. Pedaqoji ünsiyyətin yerinə yetirdiyi vəzifələrə görə onun növləri, müxtəlif məqsədləri: fərdi-idraki, emosional göstərilmişdir.Pedaqoji ünsiyyətin səmərəliliyinin onun motivlərindən asılı olduğu sübuta yetirilmişdir. Ali təhsil müəssisələrində pedaqoji ünsiyyətin üslub və funksiyalarının ayrı-ayrı formaları qruplaşdırılmışdır.

Açar sözlər: pedaqoji ünsiyyət, tələbə, müəllim, ali təhsil, üslub

GİRİŞ

Ünsiyyət -iki və daha çox adamın münasibətləri aydınlaşdırmaq və ümumi nəticə əldə etmək məqsədi ilə öz əlaqələrini birləşdirməyə yönəlmiş təsir vasitəsidir. Ünsiyyət-insanların bir-birinə göstərdiyi təsir vasitəsidir. Ünsiyyət insan varlığının əsas formasıdır. Ünsiyyət insan fəaliyyətinin bütün növlərində mövcuddur və onu ömrü boyu müşayiət edir. Lakin bir sıra peşələrdə ünsiyyət, fəaliyyəti və onu müşayiət edən amili peşənin xarakterindən asılı olaraq peşə əhəmiyyətli kateqoriyaya çevrilir. Belə peşələrə müəllim peşəsi də daxildir. Bu zaman ünsiyyət insanların qarşılıqlı əlaqəsinin adi forması kimi deyil, funksional kateqoriya kimi çıxış edir. Ünsiyyət mədəniyyətinə malik olmaq müəllim peşəkarlığının ən mühüm göstəricilərindən biridir. Pedaqoji unsiyyət müəllimin tələbələrlə təlim-tərbiyə prosesində həyata keçirdiyi peşə ünsiyyətidir.

Pedaqoji ünsiyyət müəllimlər və tələbələr arasında ünsiyyətin, qarşılıqlı anlaşmanın və qarşılıqlı əlaqənin təşkili, qurulması və inkişafının çoxşaxəli prosesidir və onların birgə fəaliyyətinin məqsədləri, məzmunu ilə yaranır. Pedaqoji ünsiyyətdə kommunikativ (ünsiyyət edənlər arasında məlumat mübadiləsi), interaktiv (qarşılıqlı fəaliyyətin təşkili) və perseptiv (ünsiyyət tərəfdaşları tərəfindən bir-birinin qavranılması və qarşılıqlı anlaşmanın qurulması) tərəflər həyata keçirilir.

Ali təhsil pedaqogikasına dair araşdırmalar təsdiq edir ki, gənc ali məktəbə daxil olduqdan sonra psixoloji xüsusiyyətlərinə görə dərhal tələbəyə çevrilmir. İlkin mərhələdə təhsil fəaliyyətinin yeni formalarına uyğunlaşma, nəzarət, sosial status, ailədən təcrid prosesi gedir və yeni həyat şəraiti öz təsirini göstərir. Ona görə də birinci kurs tələbələri ilə müəllim heyəti arasında düzgün münasibətlər sistemini formalaşdırmaq son dərəcə vacibdir.

Ali məktəb gündəlik pedaqoji ünsiyyətdə reallaşan kafedranın, fakültənin, bütövlükdə universitetin psixoloji iqliminə yüksək tələblər qoyur. Bu zaman tələbələrlə fərdi ünsiyyət tərzinin formalaşması professorların, dosentlərin və müəllimlərin yaradıcı fərdiliyinin inkişafı ilə sıx əlaqədə olur. Müəllimlərin yaradıcı fərdiliyinin inkişafı aşağıdakı üsullarla asanlaşdırılır :

- tələbələrin tədqiqat fəaliyyətinin ilkin formalarına daxil edilməsi;
- tələbələrin daha yaxşı şəxsi sosiallaşması üçün birgə ünsiyyət formalarının yaradılması, iclaslarda, konfranslarda, əhali arasında mühazirələrdə, mətbuatda çıx və s-də. iştirakının təmin edilməsi;
- birgə tədqiqat işinin aparılması;
- birgə nizamlanmamış, qeyri-rəsmi əlaqələr, elm, incəsənət, peşə, kitablar haqqında söhbətlərin təşkil olunması; -müəllim heyətinin tələbələrin asudə vaxtlarının təşkilində iştirakı etməsi (şoular, olimpiadalar, müsabiqələr, dəyirmi masalar və s.). Tələbələrlə əməkdaşlıq zamanı pedaqoji təsir sistemli və davamlı olmalı, təhsil yönümlülükdən elmi tədqiqata, rəsmi qaydada tənzimlənmədən qeyri-rəsmi ünsiyyətə keçilməlidir.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Alim-müəllim və tələbələrin qarşılıqlı əlaqəsinin etik-psixoloji əsaslarına məxsusi tələblər qoyulur. Bu baxımdan fərdi tipoloji xüsusiyyətlər və ya ünsiyyət tərzi mühüm

rol oynayır və bu cəhətə ciddi, xüsusi diqqət yetirilməlidir. Müəllimlə auditoriya arasında pedaqoji ünsiyyət, şagird motivasiyasının və təhsil fəaliyyətinin yaradıcı xarakterinin inkişafı üçün ən yaxşı şərait yaradan ünsiyyət hesab olunur. Belə ünsiyyət əlverişli emosional mühitin yaranmasını təmin edir, müəllimin şəxsiyyəti tədris fəaliyyətinin həyata keçirilməsi üçün əsas vasitəyə çevrilir.

Pedaqoji ünsiyyətin aşağıdakı komponentləri fərqləndirilir: koqnitiv komponent, tənzimləyici komponent, affektiv komponent, mənəvi komponent. Koqnitiv komponent əsasında ümumi ünsiyyət onun nümunələri haqqında biliklər ; ünsiyyətin strukturu, ünsiyyətin kommunikativ,

interaktiv və perseptual aspektlərinin həyata keçirilməsi xüsusiyyətləri; ünsiyyət və şəxsiyyətlərarası münasibətlərin öyrənilməsi üsulları; pedaqoji və ümumiyyətlə, şəxsiyyətlərarası ünsiyyətin təşkili üçün əsas psixoloji və pedaqoji tələblər durur. Tənzimləyici komponent rabitə vasitələrinin, metodlarının və texnikasının bütün arsenalından istifadə edərək məlumat ötürmək bacarığıdır. Bu birgə fəaliyyət prosesində tələbələrlə münasibətləri və onların öz arasındakı münasibətləri təşkil etmək; cari emosional və psixoloji vəziyyəti anlamaq, başqa bir insanın şəxsi keyfiyyətlərini və davranışını adekvat olaraq dərk etmək və obyektiv qiymətləndirmək; ünsiyyət tərəfdaşlarına təsir etmək üçün düzgün və pedaqoji cəhətdən uyğun; öz psixi vəziyyətini, davranışını və inkişafını idarə etməklə bağlıdır. Affektiv komponent isə ünsiyyət tərəfdaşları arasında yaranan münasibətləri xarakterizə edən emosional vəziyyətlə bağlıdır. Mənəvi komponent: intellektual qabiliyyətlərin və mənəvi vəziyyətinin birliyini ifadə edir. Mənəvi qabiliyyətlər insanın yaradıcılığında başqa insanları anlamaq, qiymətləndirmək və təsvir etmək qabiliyyətidir; şəxsiyyətin intellekt və mənəviyyatının ayrılmaz təzahürüdür. Mənəvi cəhətdən zəngin müəllim öz ünsiyyətində digər insanları mənəvi məzmunu ilə başa düşməyə, qəbul etməyə və uyğunlaşdırmağa çalışır.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Pedaqoji ünsiyyət çoxşaxəlidir və elmi ədəbiyyatda aşağıdakı funksiyaları ayırd edilir: 1) koqnitiv, ətraf aləmin izahı, məlum hadisələrdə sosial və şəxsi əhəmiyyətli cəhətlərin üzə çıxarılması; 2) emotiv (emosional, hisslərlə yaşayan insan) - danışanın danışılana və həmsöhbətə münasibəti; 3) tələbə şəxsiyyətini tərbiyəvi, məqsədyönlü şəkildə formalaşdıran ictimai faydalı keyfiyyətləri; 4) asanlaşdırıcı, tələbənin özünü ifadə etmə prosesini asanlaşdırmağa, onda müsbət olanı nümayiş etdirməyə yönəlmiş; 5) tənzimləyici, ünvan sahibini hərəkət etməyə təşviq edən, ünsiyyət vasitəsilə fəaliyyəti əlaqələndirmək; 6) öz imkanlarını reallaşdırmaq prosesini yaradan özünü aktuallaşdırma. Funksiyalarına görə pedaqoji ünsiyyət təhsil prosesinin bütün subyektləri arasında əlaqə və məsafəli, məlumatlandırıcı, həvəsləndirici, əlaqələndirici, qarşılıqlı əlaqələrini yaradır. Peşəkar pedaqoji ünsiyyətin müxtəlif növləri (müəllimin tələbələrlə, digər müəllimlərlə, rəhbərliklə ünsiyyəti) müəllimin qarşıya qoyduğu vəzifələrə və onların həlli yollarına görə fərqlənir.

Pedaqoji ünsiyyət müxtəlif məqsədlər daşıya bilər: fərdi-idraki (nə isə yeni bir şey öyrənmək, təlimat almaq), emosional (qiymətləndirmək, münasibəti bildirmək, təəssüratı bölüşmək) və s. Pedaqoji ünsiyyət zamanı məqsəd sadəcə olaraq elə

ünsiyyətə girişmək, ünsiyyət saxlamaqdan da ibarət ola bilər. (məsələn, kiminləsə birgə olmaq, söhbət etmək). Bu cəhət tələbələrin ünsiyyət fəaliyyətində özünü aydın şəkildə göstərir. Pedaqoji ünsiyyətin səmərəliliyi onun motivlərindən də asılıdır. Motivin düzgünlüyü və dərk edilmiş xarakter daşıması pedaqoji ünsiyyətin gedişini şərtləndirir. Pedaqoji ünsiyyət müvafiq normalar çərçivəsində getməlidir. Müəyyən normaların gözlənilməsi bir növ pedaqoji ünsiyyətin səmərəliliyini itirir və ünsiyyət istənilən nəticəni vermir. Bununla bərabər, onun düzgün məcrada olması müəllimdən böyük peşəkarlıq və səriştəlilik tələb edir. Pedaqoji peşəkarlıq və səriştəlilik pedaqoji ünsiyyətlə daim qarşılıqlı təsirdə olan bir proses kimi özünü göstərir.Bunların biri digərinə səbəb olduğu kimi, həm də nəticə kimi özünü göstərə bilir.

M.İ.İlyasov yazır:"Müəllimin peşəkar ünsiyyət mədəniyyətinə malik olması öyrədən və öyrənənlər arasında münasibətlərin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Lakin bu münasibət ozaman daha məhsuldar, nəticəyönümlü olur ki, o qarşılıqlı hörmətə, humanist münasibətlərə söykənmiş olsun" (İlyasov, 2018, s.205).

Müəllimin kommunikativ fəaliyyətinin öyrənilməsi göstərir ki, pedaqoji ünsiyyətin xarakteri və məzmunu müxtəlif amillərlə şərtlənir ki, bunlardan müəllimin fərdi ünsiyyət üslubu, mövqeyi ustanovkasını xüsusi qeyd etmək lazımdır. Bunlar bir növ ünsiyyətin vasitəsi rolunu oynayırlar. Müəllimlərin hamısında ünsiyyət üslubu eyni olmur. Konkret bir şəxsiyyət kimi hər bir müəllimdə ünsiyyətin təşkili priyom və metodları nisbətən sabit şəkildə cəmlənir. Kommunikativ məsələni həll etməyə yönəldilmiş bu cür davamlı keyfiyyətlər fərdi pedaqoji ünsiyyət üslubu adlanır. S.Ə.Hacılı pedaqoji ünsiyyət üslublarını belə br şəldə açıqlayır: "avtoritar, demokratik, liberal" (Hacılı, 2020, s.351-35). Professor M. İlyasov da müəllimin şagirdlərlə ünsiyyət tərzlərinə avtokratik, avtoritar, demokratik və liberal ünsiyyət tərzlərini aid etmişdir. O qeyd edir ki, bunların "...hər biri öz mahiyyətinə uyğun olaraq şagirdlərin xarakter və tərbiyəsinə təsir edir" (İlyasov, 2018, s.75). Adətən avtoritar pedaqoji üslubuna malik olan müəllimlər pedaqoji ünsiyyətin təşkilində demək olar ki, eyni mövqe tuturlar. Bu cür rəhbərlik üslubuna malik olan müəllimlər tələbələrə yalnız obyekt kimi yanaşırlar. E. Kərimova yazır: "Avtokratik ünsiyyət tərzinə malik olan müəllim həmişə özünün hakim mövqeyi ilə seçilir. Anlayışın mahiyyətini araşdırdıqda da biz bunun şahidi oluruq. Belə ki,"avto" latın sözü olub "mən", "özüm","kratos" isə "hakimiyyət" deməkdir" (Kərimova, 2025, s. 54–58). Bu əməkdaşlıq növündə müəllim şagirdlərlə münasibətində həmişə hakim mövqedə dayanır. O uşaqlarla əmr və sərəncamlarla, göstərişlərlə danışır. Heç kimin rəyi, fikri ilə hesablaşmır. Özü bildiyi kimi hərəkət edir, təkbaşına qərarlar çıxarır, uşaqların və bütövlükdə kollektivin fəallıq və təşəbbüskarlığını boğur. Müəllim fiziki cəzaya, təhqirlərə əl atmaqdan çəkinmir. O, uşaqlara rişxəndlə yanaşır, onların şəxsiyyətlərinə hörmətlə yanaşmır, uşaqları kollektiv içində də pərt edir. Avtokratik yanaşmada uşaqların yaradıcılığ müstəqilliyi, fəallıq və təşəbbüskarlığı boğulur. Uşaqlar daha çox müti, itaətkar və qorxaq böyüyürlər. Avtokratik müəllim yalnız öz hakimiyyətinə arxalanır. O, şagird kollektivinə etibar etmir. Öz qərarlarını şagirdlərlə birgə müzakirə etməyi, onlarla hesablaşmağı lazım bilmir. Uşaqların heç bir rəyini və təklifini qəbul etmir. Onlara belə rəhbərlik hədə və cəzalardan başqa heç nə verə bilməz. Belə yanaşma üslubuna

malik olan müəllimlərin başlıca nöqsanı, şagird şəxsiyyətinin formalaşması prosesinə dərindən və hərtərəfli nüfuz etməkdən məhrum olmasıdır. Burada tərbiyə olunan tərbiyə edəndən uzaqdır və hər cür tərbiyəvi təsirdən kənardadır. Belə vəziyyətdə məktəbli öz fikirlərini müəllimlə bölüşə bilmir. Əlbəttə, belə yanaşma tərzi nəinki, yeni pedaqoji təfəkkürdən, ümumi pedaqoji təfəkkürdən də uzaqdır. Buna avtokratik pedaqoji təfəkkür deyə bilərik.

Avtoritar ünsiyyət tərzi müəllimin şəxsiyyətinə əsaslanan ünsiyyət tərzidir. Bu zaman yalnız müəllimin göstərişləri həyata keçirilir və müəllim bütün işlərin onun özünün istədiyi kimi yerinə yetirilməsinə çalışır. Belə yanaşma və belə əməkdaşlıqda müəllim yenə də hakim mövqeyə malikdir. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, o uşaqların çıxış etməsinə, fikir yürütməsinə imkan verir, lakin son məqamda yenə öz bildiyini edir. Ürəyində nə kimi məsələlər nəzərdə tutsa, onu da hökmən yerinə yetirir. Təlimat və göstərişlər əsasında işləyir. Belə müəllim nadir hallarda uşaqlara xoş, tərifli sözlər deyə bilir. O şagirdlərin səhv cavablarına gülür, səhvi böyüdür və çox hallarda səhvi düzəltmir. Avtoritar yanaşmada müəllim yalançı avtoritetə, nüfuza malikdir. Belə nüfuz gücə, zora əsaslanır. Belə yanaşma həm tərbiyəçinin, həm də tərbiyə olunanların yaradıcılığını öldürür. Belə müəllimlər yalnız müvəqqəti müvəffəqiyyət və hörmət qazanmağa nail ola bilərlər.

Avtoritar tipli müəllimlər əsasən iki tipə bölünürlər: Birinci tipə məxsus olanlar özlərinə möhkəm inam bəsləyirlər. Onlar belə hesab eldirlər ki, hər hansı bir çətin işin öhdəsindən gələ bilərlər. Onlar heç vaxt həvəsdən düşmür, həmişə özünü haqlı və lazımlı hesab edirlər. Beləliəri həmişə özlərinə qarşı yüksək fikirdə olurlar. İkinci tipə məxsus olan avtoritar müəllimlər isə yuxarıda deyilənlərin tam əksi olurlar. Belə müəllimlər həmişə həyacanlıdırlar, sanki buxovlanmış, əl qolları bağlanmışdır. Onlar nədənsə daim narazıdır, özlərinə qarşı inamsızdırlar. Uşaqların hər hansı bir hərəkətinə şübhə ilə yanaşır. Şübhələr isə həmişə onun özünü narahat edir. Hər iki tipə məxsus avtoritar müəllimin ümumi cəhətləri də vardır. Belə ki, hər ikisi başqasını sıxır, şagirdləri özündən asılı vəziyyətə salmağa çalışır. Onların daxili aləmi müəllimlik peşəsinin tələblərinin, yeni pedaqoji təfəkkürün tam tərsinədir. Məsələn, müəllimlik peşəsi, habelə yeni pedaqoji düşüncə tələb edir ki, müəllim uşaqları sevməli, onların şəxsiyyətinə hörmət etmədlidir. Avtoritar müəllim isə yalnız özünü sevir, uşaqlara «yuxarıdan aşağı» baxır. Yeni pedaqoji təfəkkür tələb edir ki, müəllim uşaqların fəallığını, təşəbbüskarlığını inkişaf etdirsin, onlara nikbin nəzərlərlə baxsın. Avtoritar müəllim isə uşaqların təşəbbüskarlığını boğur, onlara şübhə ilə yanaşır və özü də pessimist və bədbindir. Bu sahədə tədqiqat aparan müəlliflərin əksəriyyəti ən səmərəli ünsiyyət üslubu kimi demokratik üslubu qeyd edirlər. Belə rəhbərlik üslubundan tələbə subyek kimi qavranılır.

Demokratik ünsiyyət tərzi müəllim-tələbə ünsiyyətinin formalaşmasının ən əlverişli və təsirli vasitəsidir. Belə ünsiyyət nəticəsində müəllimlə tələbə arasında qarşılıqlı əməkdaşlıq yaranır. Bu ünsiyyət tərzinə malik olan müəllimlər tələbələrə bir şəxsiyyət kimi baxır, onların təkliflərinə diqqətlə yanaşır, dinləyir, nəzərə alır. Demokratik müəllimin dərslərində uğur daha çox olduğu kimi, o, tələbələrə də daha yaxın olur. Bu cür rəhbərlik üslubuna malik olan müəllim tələbə kollektivi ilə razılaşır.

Qərar qəbul edərkən kollektiv və onun liderinin təklifini nəzərə alır. Tələbələrin müstəqilliyini boğmur, onlara daim xahiş, məsləhətlə yanaşır, müsbət emosional əlaqəyə üstünlük verir. Bu cür ünsiyyət üslubuna malik olan müəllimlər tələbələrin fərdi xüsusiyyətlərini və şəxsi təcrübələrinin, fəallıq və tələbatlarını nəzərə almağa çalışırlar. Belə müəllimlərdə neqativ ustanovka olmur və ya onu təzahür etmirlər. Onlar qiymətləndirmədə obyektiv, təmas yaratmaqda isə təşəbbüskardırlar.Tələbələr bu cür müəllimlərlə ünsiyyətə can atır, onlardan hər cür köməklik gözləyirlər.

Laqeyd və yaxud liberal rəhbərlik üslubuna malik olan müəllimlərin tələbələrlə olan ünsiyyəti də kortəbii xarakter daşıyır. Burada ünsiyyətin xarakteri müəllimin özündən deyil, tələbələrdən asılı olur, tələbələr tərəfindən diktə olunur. Liberal ünsiyyət tərzi müəllim və şagird münasibətlərində qeyri-sağlam ünsiyyət tərzi kimi bütün təlim-tərbiyə prosesinə öz mənfi təsirini göstərməyə bilməz. Belə ünsiyyət tərzinə malik olan müəllimlər tələbələrin bütün hərəkətlərinə adi hal kimi baxır, onlara həddən çox güzəştlər edir və tələbkarlıq göstərmirlər. Liberal ünsiyyətli müəllimlər bəzən tələbələrlərlə ünsiyyətə xələl gətirən tərzdə söhbətlər edir, tərbiyə prosesinə laqeyd münasibət bəsləyirlər.

NƏTİCƏ

Pedaqoji ünsiyyət, ümumiyyətlə, ünsiyyətin bütün xüsusiyyətlərini özündə əks etdirir. Bir çox müəllimlər öz mövqeləri ilə tədris prosesinin subyekt-obyekt xarakterini dəstəkləyərək, əsasən öz peşə biliklərinə və onun tələbələrə ötürülməsinə diqqət yetirirlər. Bəzən tədris prosesinin çətinlikləri ya tələbələrin öyrənmək istəməməsi, ya da öyrənməyə həvəssizliyi ilə izah edilir ki, bu da əvvəllər əldə edilmiş münasibətlərə əsaslanaraq, tələbələrin mövzuya və müəllimin özünə münasibətinə və davranışına arzuolunmaz təsir göstərir. Eyni zamanda, tələbələrin sorğusundan və tələbə rəyindən əldə edilən nəticələr təsdiqləyir ki, müəllimin mövqeyi təsirdən qarşılıqlı əlaqəyə keçərsə, dərslərin effektivliyi daha yüksək olur ki, bu da müəllim konstruktiv qarşılıqlı əlaqə yaratmaq üçün sadə prinsip və üsullara əməl etsə belə mümkün olur

A. Bayramova yazır: “Müəllimlə birlikdə br problemin, intellektual tapşırığın ortaya qoyulduğu və həll edildiyi təlim əmədaşlığının təbiətinin səbəb olduğu və tələb etdiyi ünsiyyət üslubunun nəzərə alınması olduqca böyük maraq doğurur” (Bayramova, 2021 , s.72-74)

Bütün bunlar belə nəticəyə gəlməyə əsas verir ki, müəllimin kommunikativ qabiliyyəti, ünsiyyət bacarığı pedaqoji prosesdə çox mühüm rol oynayır. Müəllimlə tələbələrin qarşılıqlı ünsiyyəti nə qədər səmərəli olarsa, kollektivin idarə olunması, onun üzvlərinin tərbiyə işinin təşkili də bir o qədər səmərəli olacaqdır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Bayramova, A.A. (2021) Müəllimin ünsiyyət mədəniyyətinin əsasları. Elmi iş. Beynəlxalq elmi jurnal. Impakt faktorlu, -s.72-74
2. Hacılı, S.Ə.(2020). Müəllimin pedaqoji üslubunun şagird şəxsiyyətinin inkişafına təsiri . Bakı Qızlar Universiteti Elmi əsərlər, cild 11, (4), s.351-35

3. İlyasov, M. (2018). Müəllim peşəkarlığı və pedaqoji səriştəliliyin müasir problemləri. Monoqrafiya. Elm və təhsil, 208 səh.
4. Kərimova, E.(2025). Müəllim-şagird münasibətində pedaqoji ünsiyyətin forma və tərzləri. Bakı Qızlar Universiteti Elmi əsərlər, cild 22, (1), s.54-58

PEDAGOGICAL COMMUNICATION STYLES THAT INCREASE THE COMMUNICATIVE ABILITY OF A HIGHER EDUCATION TEACHER

Ayubova Sevinj Ali
Azerbaijan State Pedagogical University,
Department of General History and History Teaching Technology
teacher

Abstract

The scientific article initially put forward the idea of the importance of the teacher's communicative skills for students to understand the lesson process well in the classroom and for a positive educational environment. Communication is shown as an important component of activity, a necessary attribute, and teachers' acquisition of the culture of pedagogical communication is also associated with professionalism. According to the tasks performed by pedagogical communication, its types and various goals are shown: individual-cognitive, emotional. It is proven that the effectiveness of pedagogical communication depends on its motives. Separate forms of styles and functions of pedagogical communication in higher education institutions are grouped.

Keywords: pedagogical communication, student, teacher, higher education, style

THE INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN EDUCATION: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Minaya Aflatun Mammadova
Phd., Senior teacher
Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan
ORCHİD ID: 0000-0003-2981-9952

Xülasə

Məqalədə müasir texnologiyaların təhsil mühitinə inteqrasiyası araşdırılır, onun həm imkanları, həm də çətinlikləri diqqət mərkəzində saxlanılır. Son illərdə texnoloji irəliləyişlər tədris və təlim proseslərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmiş, təhsili daha əlçatan, interaktiv və tələbə mərkəzli etmişdir. Rəqəmsal alətlərdən, onlayn platformalardan və multimedia resurslarından istifadə təhsilin keyfiyyətini artırıb və

müəllimlər və tələbələr arasında ünsiyyəti gücləndirib. Bununla belə, bu texnologiyaların tətbiqi rəqəmsal resurslara qeyri-bərabər çıxış, qeyri-kafi müəllim hazırlığı, tələbələrin idrak bacarıqlarına potensial mənfi təsirlər və məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizliyi ilə bağlı narahatlıqlar kimi bir sıra problemlər də təqdim edir. Tədqiqat təhsildə ənənəvi və texnoloji yanaşmaların tarazlaşdırılmasının vacibliyini vurğulayır. Bu nəticəyə gəlir ki, müasir texnologiyaların effektiv inteqrasiyası faydaları maksimuma çatdırmaq və riskləri minimuma endirmək üçün müvafiq infrastruktur, müəllim hazırlığı və məsuliyyətli istifadə tələb edir.

Açar sözlər: Müasir texnologiyalar, təhsil, rəqəmsal öyrənmə, tədris və təlim mühiti, imkanlar və problemlər.

Abstract

This paper examines the integration of modern technologies in the educational environment, focusing on both its opportunities and challenges. In recent years, technological advancements have significantly influenced teaching and learning processes, making education more accessible, interactive, and student-centered. The use of digital tools, online platforms, and multimedia resources has improved the quality of education and enhanced communication between teachers and students. However, the implementation of these technologies also presents several challenges, such as unequal access to digital resources, insufficient teacher training, potential negative effects on students' cognitive skills, and concerns related to data privacy and security. The study highlights the importance of balancing traditional and technological approaches in education. It concludes that effective integration of modern technologies requires proper infrastructure, teacher preparation, and responsible usage to maximize benefits and minimize risks.

Keywords: Modern technologies, education, digital learning, teaching and learning environment, opportunities and challenges.

Introduction

In recent decades, modern technologies have significantly transformed various aspects of human life, including education. The rapid development of digital tools, the internet, and artificial intelligence has created new opportunities for both teachers and students. Educational institutions are increasingly integrating modern technologies into the teaching and learning process to improve the quality of education and make it more accessible. However, alongside these benefits, the use of technology also presents certain challenges. This paper aims to analyze the integration of modern technologies in education by examining both its opportunities and challenges.

Opportunities of Modern Technologies in Education

One of the main advantages of modern technologies in education is increased access to information. Students can easily find educational materials, research articles, and online courses through the internet. This allows learners to study independently and expand their knowledge beyond the classroom.

Another important opportunity is the improvement of teaching methods. Teachers can use digital tools such as presentations, videos, and interactive platforms to make lessons more engaging and understandable. For example, visual and multimedia

content helps students better understand complex topics and increases their interest in learning.

Modern technologies also support personalized learning. Each student has different abilities and learning speeds. With the help of educational software and online platforms, students can learn at their own pace, repeat difficult topics, and receive instant feedback. This makes the learning process more effective and student-centered.

Furthermore, technology enhances communication and collaboration. Students and teachers can communicate through online platforms, participate in virtual discussions, and work on group projects even from different locations. This is especially important in the modern globalized world, where digital communication skills are essential.

Challenges of Modern Technologies in Education

Despite its many advantages, the integration of modern technologies in education also presents several challenges. One of the main issues is the digital divide. Not all students have equal access to the internet, computers, or other technological devices. This creates inequality in education and limits opportunities for some learners.

Another challenge is the lack of proper training for teachers. Not all educators are familiar with modern technologies or know how to effectively integrate them into their teaching. Without sufficient training, technology may not be used to its full potential.

Additionally, excessive use of technology can negatively affect students' concentration and critical thinking skills. Students may become too dependent on digital tools and less motivated to think independently. Distractions such as social media and online entertainment can also reduce students' academic performance.

There are also concerns related to data privacy and security. The use of online platforms requires sharing personal information, which may be at risk if not properly protected. Educational institutions must ensure that students' data is safe and secure.

Conclusion

In conclusion, modern technologies play a crucial role in the development of the educational environment. They provide numerous opportunities, such as improved access to information, innovative teaching methods, personalized learning, and enhanced communication. However, their integration also brings challenges, including inequality in access, lack of teacher training, potential negative effects on students, and data security issues.

Therefore, it is important to find a balance between the use of technology and traditional teaching methods. Educational institutions should invest in infrastructure, provide training for teachers, and develop strategies to use technology effectively and responsibly. Only in this way can the full potential of modern technologies in education be realized.

References

1. UNESCO. (2021). ICT in Education: A Critical Review of Policies and Practices.
2. OECD. (2020). The Impact of Digital Technologies on Education and Learning.
3. World Bank. (2022). Education Technology and Its Role in Learning.
4. Neil Selwyn. (2016). Education and Technology: Key Issues and Debates.
5. Tony Bates. (2019). Teaching in a Digital Age.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.028.327-334

TEACHING ENGLISH ONLINE TO AN ADOLESCENT LEARNER WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER: A THREE-YEAR CASE STUDY

Vasylenko Ivanna
Bachelor of Philology
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
Academic Supervisor:
Palamarchuk Olha
PhD in Pedagogy, Associate Professor, Senior Researcher
Department of Theory and Practice of Translation from English
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Abstract. This case study investigates pedagogical challenges and effective instructional strategies in online English language teaching for an adolescent learner with Autism Spectrum Disorder (ASD). Over a three-year period (2023–2026), the participant attended regular online EFL lessons delivered via Zoom and Google Meet. Classroom observations and reflective teaching records were analyzed to identify recurring learning barriers and evaluate instructional adaptations. The findings indicate that structured routines, indirect questioning, positive reinforcement, segmented multimedia input, and individualized feedback contributed to increased learner engagement and reduced anxiety. Although limited to a single case, the study offers practical recommendations for teachers working with neurodivergent learners in online language education.

Keywords: Autism Spectrum Disorder, online English language teaching, inclusive education, EFL, neurodiversity, case study, instructional adaptations, online tutoring.

Introduction. The rapid expansion of online language education has increased the need for evidence-based instructional approaches for neurodivergent learners. Previous studies have explored English language teaching for autistic learners in inclusive classrooms (Padmadewi & Artini, 2017) and online teaching during the COVID-19 pandemic (Giraldo Martínez & Ramos Carvajal, 2021). However, relatively little research has examined long-term individualized one-to-one online English language instruction for autistic adolescents or documented both behavioural and language development over an extended period. The present longitudinal case study contributes to this area of research by examining individualized online EFL instruction over a three-year period.

The purpose and the objectives. The study aims to identify the key challenges experienced by an adolescent learner with ASD in an online English language learning context and to examine the effectiveness of instructional adaptations that supported learner engagement, communication, and language development during a three-year intervention.

Methodology. This study employed a longitudinal mixed-methods single-case design combining qualitative classroom observations with quantitative measures of English language development to examine the effectiveness of individualized instructional strategies in online English language teaching for an adolescent learner diagnosed with Autism Spectrum Disorder (ASD). The participant was a 13-year-old Ukrainian adolescent diagnosed ASD who had relocated to the United States as a refugee. At the beginning of the intervention, the learner demonstrated an English language proficiency of approximately CEFR level A2 and attended a mainstream American school. The intervention continued over three years, during which the learner progressed to approximately CEFR level B2 while remaining enrolled in general education.

The participant was selected because he received continuous one-to-one online English instruction over an extended period, which provided a unique opportunity to examine long-term individualized pedagogical adaptations in an authentic educational setting. Written consent for research participation was obtained from the learner's family, and all personally identifiable information was removed or anonymized to ensure confidentiality.

The intervention consisted of two individual 50-minute online English lessons per week conducted via Zoom and Google Meet over a three-year period (2023–2026). Lessons followed a relatively consistent instructional structure, including a speaking warm-up, homework review with teacher feedback, explicit grammar instruction supported by online practice tests, and vocabulary development through reading and listening activities.

Approximately 300 online lessons (over 250 hours of instruction) formed the basis of the present analysis. The learner's progress was evaluated through repeated observations of several pedagogically relevant indicators, including:

- length and complexity of spoken responses;
- length and grammatical complexity of written production;
- sustained attention during instructional activities;
- frequency of self-soothing behaviours (e.g., fidgeting, repetitive hand movements, rocking, and spontaneous vocalizations);
- willingness to maintain eye contact during interaction;
- emotional responses to corrective feedback;
- confidence, self-regulation, and overall classroom engagement.

Quantitative data were collected through regular English language assessments administered via the Test-English platform, including grammar, vocabulary, reading, listening, use of English, and writing tasks. Speaking proficiency was assessed continuously using CEFR-informed criteria based on fluency, grammatical accuracy, pronunciation, and lexical resource. The learner's overall language development was additionally monitored through annual English proficiency assessments conducted at his American school, which provided independent evidence of sustained language progress throughout the three-year intervention. The combined assessment data indicated an improvement from approximately CEFR level A2 to B2.

The observational data were analysed using qualitative thematic analysis to identify recurring behavioural patterns, instructional challenges, and effective teaching strategies across the three-year intervention. Due to the single-participant design, the findings are not intended to be generalized to all learners with ASD; rather, they aim to provide pedagogically relevant insights and practical recommendations for English language teachers working with neurodivergent learners in online educational contexts.

Research results. The encountered challenges and strategies for working with students with ASD teaching a foreign language are presented in Table 1.

Table 1. Instructional challenges, teaching adaptations, and observed outcomes in online ESL instruction for an adolescent learner with ASD

Observed challenge	**Instructional adaptation**	**Observed outcome**
Avoidance of direct eye contact during interaction	Rather than insisting on eye contact, the tutor maintained a relaxed visual presence and occasionally looked away to reduce social pressure. The learner's attention was gently redirected by name when necessary.	The learner gradually became more comfortable maintaining eye contact during interaction. By the end of the observation period, he was able to maintain visual engagement throughout most conversations while only occasionally looking away.
Frequent self-regulatory sensory behaviours (fidgeting) during lessons	Self-regulatory behaviours were accepted unless they disrupted participation. Gentle auditory cues (soft finger clicks) and brief movement breaks were incorporated to redirect attention without discouraging self-regulation.	Most repetitive behaviours became substantially less frequent over time. The learner appeared calmer during lessons and usually required only occasional self-regulatory movements while remaining engaged in learning activities.
Limited verbal elaboration and difficulty expressing personal thoughts	Indirect questioning techniques and open-ended prompts were used, often encouraging responses from the perspective of family members or familiar situations.	Spoken production gradually expanded from isolated words and yes/no responses to longer, grammatically more complex utterances, particularly when discussing topics of personal interest.
Difficulty sustaining attention during discussions and oral tasks	The tutor combined verbal cues, visual supports, gamified activities, role-play dialogues, and regular changes in task format to sustain engagement.	Sustained attention increased considerably. The learner progressed from losing focus within approximately 30 seconds during conversations to maintaining meaningful participation for 5–10 minutes, while remaining engaged in structured activities for 10–20 minutes before requiring a change of activity.

Continuation of table 1

Observed challenge	**Instructional adaptation**	**Observed outcome**
Limited written production and reduced elaboration	Writing tasks were scaffolded through explicit structural guidelines, expected length, and formatting requirements	Written responses became more organized and followed conventional formatting. Although elaboration remained limited, the learner showed greater consistency in producing appropriately structured written work
Strong reliance on positive reinforcement for motivation	Frequent positive reinforcement was provided following successful task completion and communicative attempts.	Positive feedback consistently increased the learner's willingness to participate, attempt challenging tasks, and communicate more confidently during lessons.
Increased emotional sensitivity to corrective feedback	Corrective feedback is given in an indirect, collaborative way, focusing on solving problems together, and is followed by positive praise to keep motivation high and maintain a supportive learning atmosphere.	Emotional reactions to mistakes became noticeably less intense. While the learner continued apologizing after errors, these responses gradually resembled polite conversational behaviour rather than signs of distress.
Perfectionism and reluctance to continue after making mistakes	Multiple attempts were permitted, emphasizing learning through repetition rather than immediate accuracy.	The learner became increasingly willing to continue activities despite mistakes and gradually developed self-reassuring statements (e.g., *"It's okay, we still did well."*), indicating improved emotional self-regulation.
Difficulty comprehending extended video materials	Longer videos were divided into short segments (30–60 seconds), each followed by immediate comprehension questions and discussion supported by visual cues.	The learner demonstrated improved recall of content, produced more detailed summaries, and expressed personal opinions when working with shorter video segments.
Anxiety associated with schedule changes	Lessons followed a highly predictable routine, and unavoidable changes were introduced gradually with advance explanation.	The learner no longer joined lessons excessively early (40–50 minutes beforehand), typically connecting only 5–10 minutes before the lesson. Although changes in routine still caused some anxiety, anticipatory stress became less pronounced.

* the data were compiled by the author

The observed outcomes presented in Table 1 emerged gradually throughout the three-year intervention and represent qualitative changes documented through repeated classroom observations.

Table 2. Longitudinal changes in learner performance across the three-year intervention

Domain	**Baseline**	**Final outcome**	**Assessment source**
English proficiency	A2	B2	Test-English; annual school assessments
Speaking	One-word responses	Extended responses	CEFR-informed tutor assessment
Writing	Minimal texts	Structured texts	Writing tasks
Attention	30 s	5–10 min	Classroom observations
Self-regulation	Frequent	Occasional	Weekly teaching journals
Eye contact	Avoided	Maintained	Classroom observations
Emotional regulation	High anxiety	Improved	Classroom observations
Motivation	Low confidence	Greater communicative confidence	Classroom observations

* the data were compiled by the author

The improvements summarized in Table 2 likely reflect the combined influence of individualized instruction, the learner's natural maturation, continued exposure to English at school, and family support. Nevertheless, the consistency of the instructional approach across approximately 300 lessons suggests that the pedagogical adaptations described in this study contributed meaningfully to the learner's progress.

Discussion. The findings can be interpreted from both neurodiversity and second language acquisition perspectives. Consistent with previous research, the learner demonstrated differences in social communication, behavioural flexibility, and emotional regulation that are commonly associated with Autism Spectrum Disorder (American Psychiatric Association, 2013; Faras et al., 2010). The learner in the present case demonstrated several characteristics frequently described in the literature, including reduced eye contact, limited verbal elaboration, a strong preference for routine, and heightened anxiety during communicative tasks (Mesibov et al., 2004; Petersson-Bloom, 2022). However, the present longitudinal case study suggests that consistently implemented individualized pedagogical adaptations may support meaningful improvements in learner engagement, communication, and English language development. Similarly, Padmadewi (2017) reported that individualized instructional strategies and positive teacher support facilitate engagement and participation among learners with ASD.

Successful foreign language learning requires learners to communicate, take risks, and accept mistakes (Lightbown & Spada, 2021). These expectations may present particular challenges for autistic learners, who often experience increased anxiety in communicative situations and may be reluctant to engage in spontaneous interaction (Genovese & Butler, 2023). In the present case, reducing communicative pressure, respecting the learner's communication preferences, and establishing a supportive teacher-learner relationship appeared to facilitate greater participation, confidence, and willingness to communicate over time.

Communication and Social Interaction. Rather than encouraging the learner to adopt neurotypical patterns of communication, the instructional adaptations focused on creating conditions in which communication could develop naturally and comfortably. This approach is consistent with the "double empathy problem" proposed by Milton (2012), which suggests that communication difficulties arise from mutual differences in understanding between autistic and non-autistic individuals rather than solely from deficits in the autistic person. This interpretation is further supported by compassionate pedagogical approaches, which emphasize that pressuring autistic learners to suppress or mask autistic traits, such as avoiding self-regulatory behaviours or forcing eye contact, may increase stress and negatively affect psychological well-being (Hamilton et al., 2023). The present findings support this perspective. As the learner experienced less social pressure and greater acceptance of his communication preferences, he gradually became more willing to maintain eye contact, provide longer responses, and participate more actively.

Attention and Self-Regulation. Initially, the learner displayed frequent fidgeting behaviours, including repetitive movements, hair pulling, nail biting, and object manipulation. Instead of treating these behaviours as disruptive, they were interpreted as signs of increasing emotional tension and addressed through gentle auditory cues, brief movement breaks, and controlled self-regulation activities. Over time, the frequency of self-regulatory behaviours decreased, while the learner became calmer and more attentive during lessons. Likewise, Kapp et al. (2019) argue that stimming often serves important sensory and emotional self-regulatory functions for autistic individuals.

Emotional Regulation and Motivation. The findings suggest that emotional safety played a key role in the learner's language development. Initially, mistakes frequently triggered anxiety, repeated apologies, and reluctance to continue communicative tasks. However, collaborative feedback, positive reinforcement, and treating errors as a natural part of learning gradually increased the learner's confidence and willingness to communicate (although occasional anxiety remained evident). These findings are consistent with Krashen's (1982) Affective Filter Hypothesis, which suggests that anxiety may hinder second language acquisition, and with Dörnyei's (2001) view that supportive teacher feedback and a positive classroom climate enhance learner motivation and willingness to communicate.

Implications for Online ESL Teaching. The present case study highlights several practical implications for teachers working with autistic learners in one-to-one online English language instruction. Rather than attempting to modify autistic behaviours to fit conventional classroom expectations, teachers may benefit from

adapting instructional practices to the learner's individual communication style, sensory needs, and emotional regulation strategies. Such an approach appears to promote learner engagement while reducing unnecessary stress.

The findings also suggest that predictable lesson routines, individualized feedback, flexible task design, and multimodal learning materials can support both language development and classroom participation. In addition, creating a psychologically safe learning environment in which mistakes are treated as a natural part of language learning may encourage autistic learners to communicate more confidently and participate more actively in communicative tasks.

Limitations. The study is limited by its single-case design and the absence of standardized behavioural assessment instruments. Therefore, the findings should be interpreted as context-specific rather than representative of all autistic learners.

Conclusion. The findings of the present case study suggest that effective online English language instruction for autistic learners depends not only on appropriate teaching methods but also on adapting the learning environment to the learner's individual communication style, sensory needs, and emotional well-being. Throughout the three-year intervention, individualized instructional adaptations, including predictable lesson routines, supportive feedback, flexible communication strategies, and acceptance of self-regulatory behaviours, were associated with improvements in learner engagement, confidence, and English language proficiency. The learner progressed from approximately CEFR level A2 to B2 while demonstrating greater communicative participation, improved emotional self-regulation, and increased willingness to use English during online interaction.

Although the findings are based on a single learner and should not be generalized to all autistic students, they demonstrate how long-term individualized online instruction can contribute to meaningful improvements in both communicative competence and learner confidence. Future research involving larger samples is needed to determine which instructional adaptations are most effective across different autistic learner profiles.

References

1. American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). American Psychiatric Publishing.
2. Dörnyei, Z. (2001). Motivational strategies in the language classroom. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511667343
3. Faras, H., Al Ateeqi, N., & Tidmarsh, L. (2010). Autism spectrum disorders. Annals of Saudi Medicine, 30(4), 295–300. https://doi.org/10.4103/0256-4947.65261
4. Genovese, A., & Butler, M. G. (2023). The autism spectrum: Behavioral, psychiatric and genetic associations. Genes, 14(3), Article 677. https://doi.org/10.3390/genes14030677
5. Giraldo Martínez, Z. L., & Ramos Carvajal, S. A. (2021). Teaching English online to students with Autism Spectrum Disorder and Down syndrome during the COVID-19 pandemic. Íkala, Revista de Lenguaje y Cultura, 26(3), 715–730. https://doi.org/10.17533/udea.ikala.v26n3a13

6. Hamilton, L. G., Stevens, E., Wallis, K., & Pellicano, E. (2023). Compassionate pedagogy for neurodiversity in higher education: A conceptual analysis. Frontiers in Psychology, 14, 1093290. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1093290
7. Kapp, S. K., Steward, R., Crane, L., Elliott, D., Elphick, C., Pellicano, E., & Russell, G. (2019). "People should be allowed to do what they like": Autistic adults' views and experiences of stimming. Autism, 23(7), 1782–1792. https://doi.org/10.1177/1362361319829628
8. Krashen, S. D. (1982). Principles and practice in second language acquisition. Pergamon Press.
9. Lightbown, P. M., & Spada, N. (2021). How languages are learned (5th ed.). Oxford University Press.
10. Mesibov, G. B., Shea, V., & Schopler, E. (2004). The TEACCH approach to autism spectrum disorders. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-306-48647-0
11. Milton, D. E. M. (2012). On the ontological status of autism: The "double empathy problem." Disability & Society, 27(6), 883–887. https://doi.org/10.1080/09687599.2012.710008
12. Padmadewi, N. N. (2017). Teaching English to a student with autism spectrum disorder in regular classroom in Indonesia. International Journal of Instruction, 10(3), 159–176. https://doi.org/10.12973/iji.2017.10311a
13. Petersson-Bloom, L., & Holmqvist, M. (2022). Strategies in supporting inclusive education for autistic students—A systematic review of qualitative research results. Autism & Developmental Language Impairments, 7, 1–15. https://doi.org/10.1177/23969415221123429
Teachers of English to Speakers of Other Languages. (2018). The 6 principles for exemplary teaching of English learners. TESOL International Association.

TƏDRİS PROSESİNDƏ MÜASİR TƏLİM TEXNOLOGİYALARININ İMKANLARI

Musayeva Zərifə Həmiddin
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,
Ümumi pedaqogika kafedrasının müəllimi (doktorant)
https://orcid.org/0009-0008-6172-6741

Xülasə

Müasir dövrdə təhsil sisteminin yenilənməsi, təlim prosesinin məzmun və metodoloji cəhətdən təkmilləşdirilməsini tələb edir. Bu yenilənmənin mərkəzində təhsilalanların idrak fəallığını stimullaşdıran, müstəqil öyrənmə bacarıqlarını formalaşdıran və tədrisin keyfiyyətini yüksəldən müasir təlim texnologiyaları dayanır. Tədqiq olunan yanaşmalar tədris prosesinin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, sinifdə əməkdaşlıq mühitini gücləndirir və şagirdi passiv qəbuledici mövqeyindən yaradıcı, tədqiqatçı iştirakçı mövqeyinə yüksəldir. İKT-nin tətbiqi, xüsusilə interaktiv lövhələr,

virtual laboratoriyalar və onlayn qiymətləndirmə sistemləri tədrisin vizuallaşdırılmasını təmin edərək biliklərin mənimsənilməsini asanlaşdırır və şagird motivasiyasını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Məqalədə müxtəlif pedaqoji modellərin praktik tətbiqi ətraflı nəzərdən keçirilir:

Problemli və Layihə əsaslı təlim: Şagirdlərdə tənqidi təfəkkür, sosial məsuliyyət və problem həlletmə bacarıqlarını inkişaf etdirən tədqiqat yönümlü modellərdir.

Modul təlim: Tədris materialının ardıcıl bloklar şəklində təşkili vasitəsilə şagirdin fərdi öyrənmə tempinə və özünüqiymətləndirməsinə imkan yaradır.

"Çevrilmiş sinif" (Flipped Classroom): Dərs vaxtının səmərəli istifadəsini və müəllim tərəfindən fərdi dəstəyin optimallaşdırılmasını təmin edən bir modeldir.

Yekun olaraq vurğulanır ki, müasir təlim texnologiyalarının tətbiqi təhsilin çevikliyini və rəqabətqabiliyyətliliyini təmin edir. Lakin bu texnoloji inteqrasiyanın uğuru yalnız alətlərin seçilməsindən deyil, müəllimlərin metodik hazırlığından, tədrisin fərdiləşdirilməsindən və məktəb mühitində yaradılan innovativ təşəbbüslərin sistemliliyindən asılıdır. Nəticə etibarilə, bu yanaşmalar XXI əsrin çağırışlarına cavab verən intellektual şəxsiyyətin formalaşmasında həlledici rol oynayır.

Açar sözlər: müasir təlim texnologiyaları, interaktiv təlim, pedaqogika, təhsil, müəllim.

Müasir təhsil sistemində baş verən dəyişikliklər təlim prosesinin məzmununun, metodlarının və təşkilati formalarının yenilənməsini zəruri etmişdir. Bu baxımdan müasir təlim texnologiyalarının tətbiqi tədrisin səmərəliliyinin artırılması, təhsilalanların idrak fəallığının inkişaf etdirilməsi və təlim nəticələrinin yaxşılaşdırılmasının əsas vasitələrindən biri hesab olunur (1). Müasir təlim texnologiyaları dedikdə, tədris prosesinin effektivliyini artırmaq, şagirdlərin idrak fəallığını və müstəqil öyrənmə bacarıqlarını inkişaf etdirmək üçün tətbiq olunan yenilikçi metodlar, vasitələr və texniki imkanlar nəzərdə tutulur.

Təlim texnologiyalarının tətbiqi müəllim və öyrənən arasında əməkdaşlıq mühitinin formalaşmasına, təhsilalanların idrak fəallığının yüksəlməsinə və müstəqil öyrənmə bacarıqlarının inkişafına şərait yaradır (3). İnteraktiv təlim, problemli təlim, layihə metodu, elektron təlim (e-learning), qarışıq təlim (blended learning), oyun texnologiyaları və müasir İKT resurslarının istifadəsi bu istiqamətdə geniş tətbiq olunan nümunələrdəndir.

Dərs prosesində müasir təlim texnologiyalarının tətbiqi şagirdlərin təlimə motivasiyasını artırır, onları passiv dinləyici mövqeyindən çıxararaq fəal iştirakçıya çevirir. Məsələn, interaktiv lövhə, multimedia təqdimatları, onlayn testlər, virtual laboratoriyalar və simulyasiya proqramları mövzunun daha əyani, anlaşıqlı və yadda qalıcı formada təqdim olunmasına kömək edir.

Bununla yanaşı, müasir təlim texnologiyaları müəllimə dərs materialını fərdiləşdirərək təqdim etməyə və hər bir şagirdin fərdi xüsusiyyətlərinə uyğun tədris strategiyası seçməyə şərait yaradır (4). Bu yanaşma təkcə biliyin mənimsənilməsini deyil, həm də yaradıcı düşünmə, problem həll etmə və əməkdaşlıq bacarıqlarının inkişafını təmin edir.

Müasir təlim texnologiyaları dərs prosesinin bütün mərhələlərinə inteqrasiya oluna bilir. Onlar həm dərsin motivasiya mərhələsində, həm yeni biliklərin izahında, həm də möhkəmləndirmə və qiymətləndirmə mərhələlərində effektiv nəticələr verir. Texnologiyaların tətbiqi dərsin məzmununa, sinfin səviyyəsinə və müəllimin metodik bacarıqlarına uyğunlaşdırılmalıdır.

Azərbaycan məktəblərində bu texnologiyalar əsasən aşağıdakı istiqamətlərdə tətbiqolunur:

- İnteraktiv lövhələr vasitəsilə vizual izah;
- Onlayn platformalarda tapşırıq və qiymətləndirmə;
- Qrup və layihə işləri ilə əməkdaşlıq mühitinin yaradılması;
- Problemli situasiyalar üzərində iş;
- Rəqəmsal laboratoriya və simulyasiya proqramlarının istifadəsi.

İKT əsaslı təlimdə müəllim və şagird müxtəlif elektron resurslardan, təlim platformalarından və multimedia vasitələrindən istifadə edir. Təlim prosesində istifadə olunan əsas alətlər:

- Multimedia təqdimatlar (PowerPoint, Prezi, Canva)
- Virtual sinif platformaları (Google Classroom, Microsoft Teams, Moodle)
- İnteraktiv lövhələr və sensor ekranlar
- Onlayn qiymətləndirmə sistemləri (Quizizz, Kahoot, Socrative)

Araşdırmalar göstərir ki, İKT əsaslı dərslərdə şagirdlərin dərsə diqqəti 20–25% daha yüksək olur. Bundan başqa, rəqəmsal mühitdə təlim resurslarının multimedia elementləri ilə zənginləşdirilməsi öyrənməni daha vizual və yadda qalan edir.

İKT vasitələrinin dərslərdə istifadəsi biliklərin daha aydın təqdim olunmasına, vizuallaşdırılmasına və interaktivliyə imkan yaradır. Məsələn, riyaziyyat dərslərində GeoGebra proqramı ilə qrafiklərin qurulması, biologiya dərslərində 3D modellərin göstərilməsi və s.

***1.* Problemli təlimin tətbiqi**

Problemli təlim şagirdlərin yalnız hazır bilikləri qəbul etməsini deyil, onları müstəqil düşünməyə, tədqiq etməyə və problemin həllini axtarmağa yönəldən müasir pedaqoji yanaşmadır. Bu üsulda müəllim bilavasitə bilikləri təqdim etmir, əksinə, şagirdləri qarşıya çıxan problemin həllinə cəlb edir. Nəticədə şagirdlər təkcə yeni məlumat əldə etmir, həm də düşünmə, təhlil etmə, müqayisə və nəticə çıxarma bacarıqları formalaşdırırlar.

Məsələn, tarix dərsində müəyyən bir hadisənin səbəb-nəticə əlaqələrini tapmaq üçün şagirdlər qarşısında problem qoyulur və onlar mənbələrdən istifadə edərək cavab hazırlayırlar.

***2.* Layihə-metodunun tətbiqi**

Layihə metodu şagirdlərin real problemlərin həllinə yönəlmiş tədqiqat fəaliyyətini təşkil edir. Bu modeldə şagirdlər:

1. Problemi müəyyən edir,
2. Məlumat toplayır və təhlil edir,
3. Təkliflər hazırlayır,
4. Nəticələri təqdim edir.

Bu metod şagirdlərin tənqidi düşünmə, əməkdaşlıq və təqdimetmə bacarıqlarını inkişaf etdirir. Məsələn, biologiya dərsində "Şəhərimizdə tullantıların idarə olunması" mövzusunda layihə işinin hazırlanması şagirdlərə həm ekoloji bilik qazandırır, həm də sosial məsuliyyət hissini gücləndirir.

Məsələn, "Ekoloji problemlər və həlli yolları" mövzusunda şagirdlər qrup halında araşdırma apararaq təqdimat hazırlayırlar.

***3.* Modul təlim texnologiyası**

Modul təlim – tədris materialının müstəqil öyrənmə blokları şəklində təqdim edilməsinə əsaslanır. Hər modul müəyyən məqsədlərə, məzmun vahidlərinə, qiymətləndirmə meyarlarına malikdir (Həsənov, 2019).

Bu texnologiyanın üstünlükləri:

- Şagirdin fərdi tempdə öyrənməsinə imkan verir;
- Təlim prosesində ardıcıllıq və sistemlilik yaradır;
- Özünüqiymətləndirmə bacarıqlarını inkişaf etdirir.

***4.* Flipped Classroom" (Çevrilmiş sinif) modeliş. Əks sinif modelinin tətbiqi**

Çevrilmiş sinif modelində ənənəvi dərs prosesi tərsinə çevrilir: şagirdlər mövzunu evdə video dərslər vasitəsilə öyrənir, dərsdə isə müəllimlə birlikdə praktiki tapşırıqlar yerinə yetirirlər.

Bu yanaşma:

- Dərs vaxtını tətbiqetməyə yönəldir,
- Müəllim-şagird qarşılıqlı əlaqəsini gücləndirir,
- Fərdi dəstək üçün imkan yaradır.

Məsələn, şagirdlər mövzunun nəzəri hissəsini evdə videodərs vasitəsilə öyrənir, dərsdə isə müəllimlə birlikdə praktiki tapşırıqlar üzərində işləyirlər.

Təlim texnologiyası	Əsas xüsusiyyətləri	Nəticələr
İKT əsaslı təlim	Multimedia, interaktiv lövhə, onlayn testlər	Fərdi öyrənmə sürəti, vizual yaddaşın güclənməsi
Layihə metodu	Real problem həlli, qrup işi	Tənqidi düşünmə, əməkdaşlıq bacarığı
Modul təlim	Müstəqil öyrənmə blokları	Sistemli bilik, özünüqiymətlən-dirmə
Flipped Classroom	Evdə nəzəriyyə, dərsdə tətbiqi	Dərinləşdirilmiş öyrənmə, interaktivlik

Aparılan təhlillər göstərir ki, müasir təlim texnologiyalarının dərsdə tətbiqi həm şagirdlərin akademik göstəricilərini, həm də sosial bacarıqlarını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Lakin bu texnologiyaların effektivliyi müəllimlərin peşəkar hazırlıq səviyyəsindən, texniki imkanlardan və məktəbin innovativ mühit yaratmaq potensialından asılıdır.

Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, müasir təlim texnologiyalarının tədris prosesinə inteqrasiyası təsadüfi bir yenilik deyil, dövrün və təhsilin inkişafının zəruri tələbidir. Bu texnologiyalar dərsi passiv informasiya ötürülməsindən çıxararaq, şagirdi tədqiqatçı, tənqidi düşünən və yaradıcı şəxsiyyətə çevirən interaktiv bir mühitə transformasiya edir. Problemli təlim, layihə metodu, çevrilmiş sinif və İKT resursları

kimi yanaşmalar təlimin çevikliyini təmin edir, şagirdlərin akademik nailiyyətlərini və sosial bacarıqlarını əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir.

Bununla yanaşı, təhsilin keyfiyyətinin davamlılığı yalnız texniki təminatdan deyil, müəllimlərin peşəkar metodik hazırlığından və məktəblərdə formalaşdırılan innovativ idarəetmə mədəniyyətindən birbaşa asılıdır. Nəticə etibarilə, texnologiyanın və pedaqoji ustalığın sintezi XXI əsrin çağırışlarına cavab verən, rəqabətqabiliyyətli və müstəqil öyrənmə bacarığına malik şəxsiyyətlərin formalaşmasının əsas təməlidir. Müasir təlim texnologiyaları təhsil sisteminin gələcəyini müəyyən edən strateji alət olaraq, gələcək nəsillərin inkişafında həlledici rol oynamağa davam edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Əliyeva F.A., Məmmədova Ü.R. Müasir təlim texnologiyaları. – Bakı: MBM, 2015.
2. Mehrabov A.O., Abbasov Ə.Ə., Zeynalov Z., Həsənov R. Pedaqoji texnologiyalar. – Bakı: Mütərcim, 2006
3. Paşayev Ə.X., Rüstəmov F.A. Pedaqogika: Yeni kurs. Bakı: Çaşıoğlu, 2002. – 512 s.
4. Fullan M. The New Meaning of Educational Change. 4th ed. New York: Teachers College Press, 2007.

THE OPPORTUNITIES OF MODERN TEACHING TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Zarifa Hamiddin Musayeva
Lecturer, (Doctoral Candidate) Department of General Pedagogy
Azerbaijan State Pedagogical University
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6172-6741

Summary

In the modern era, the renewal of the education system requires continuous improvement of the content and methodology of the teaching process. At the center of this transformation are modern teaching technologies that stimulate learners' cognitive activity, foster independent learning skills, and enhance the quality of instruction. These approaches not only increase the effectiveness of the educational process but also strengthen collaborative learning environments in the classroom, transforming students from passive recipients of knowledge into creative and research-oriented participants. The integration of Information and Communication Technologies (ICT), particularly interactive whiteboards, virtual laboratories, and online assessment systems, facilitates the visualization of learning content, improves knowledge acquisition, and significantly enhances students' motivation.

This article examines the practical implementation of several contemporary pedagogical models:

Problem-Based Learning (PBL) and Project-Based Learning: These inquiry-oriented instructional models develop students' critical thinking, social responsibility, and problem-solving skills.

Modular Learning: By organizing instructional content into sequential modules, this approach enables students to learn at their own pace while promoting self-assessment and independent learning.

Flipped Classroom: This instructional model ensures more efficient use of classroom time and optimizes opportunities for individualized teacher support.

In conclusion, the article emphasizes that the implementation of modern teaching technologies enhances the flexibility and competitiveness of the education system. However, the successful integration of these technologies depends not only on the selection of appropriate digital tools but also on teachers' methodological competence, the individualization of instruction, and the systematic implementation of innovative practices within the school environment. Consequently, these approaches play a decisive role in developing intellectually competent individuals capable of meeting the challenges of the twenty-first century.

Keywords: modern teaching technologies, interactive learning, pedagogy, education, teacher.

GİRİŞ

Müasir dünyada baş verən qlobal dəyişikliklər və informasiya cəmiyyətinin sürətli inkişafı təhsil sisteminin ənənəvi paradiqmalarına yenidən baxılmasını şərtləndirir. Artıq tədris prosesi yalnız biliyin ötürülməsi mexanizmi deyil, eyni zamanda şagirdin şəxsiyyətinin formalaşması, yaradıcı və tənqidi düşünmə qabiliyyətinin inkişafı üçün bir platforma kimi çıxış edir. Bu çağırışlara cavab olaraq, təlimin məzmun, metod və təşkilati formalarının modernləşdirilməsi, müasir təlim texnologiyalarının təhsil sisteminə inteqrasiyası prioritet vəzifəyə çevrilmişdir. Müasir təlim texnologiyaları, o cümlədən İKT vasitələri, interaktiv və layihə əsaslı yanaşmalar, tədrisin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, təhsilalanların idrak fəallığını və müstəqil öyrənmə bacarıqlarını dəstəkləyən effektiv alətlərdir. Bu məqalə müasir təlim texnologiyalarının dərs prosesində tətbiqi, onların keyfiyyət göstəricilərinə təsiri və XXI əsrin tələblərinə uyğun rəqabətqabiliyyətli şəxsiyyətlərin formalaşmasındakı rolunu elmi-metodik müstəvidə təhlil etməyi hədəfləyir.

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.029.340-344

ДИТЯЧИЙ ХОРОВИЙ КОЛЕКТИВ ЯК БАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПЕРВИННОЇ СОЦІАЛІЗАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ

Качалова Катерина Іванівна
керівниця молодіжних вокальних програм
American River College (США)
https://orcid.org/0009-0003-3591-1429

Анотація. Статтю присвячено теоретичному обґрунтуванню та визначенню умов функціонування дитячого хорового колективу як базового середовища первинної соціалізації особистості. На основі положень теорії самодетермінації (SDT) проаналізовано вплив інституційного формату занять на психологічний комфорт дітей-учасників хорових колективів. Доведено, що добровільність неформального простору ефективніше стимулює соціалізацію та задовольняє потреби в персональній автономії, ніж регламентоване навчальними планами середовище. У статті обґрунтовано триетапну модель внутрішньої еволюції хорового колективу від виконавської відокремленості та егоцентризму через групове згуртування до вищого рівня холістичної інтеграції. Визначено, що ключовою педагогічною умовою перетворення хору на мікромодель суспільства є створення диригентом атмосфери психологічної безпеки, балансу нормативності та свободи. За такого підходу методика хорового навчання має підпорядковуватися гуманістичним цілям, забезпечуючи дитині позитивний досвід суспільної взаємодії.

Ключові слова: дитячий хоровий колектив, первинна соціалізація, теорія самодетермінації, синергія, холістичність, емерджентність, психологічний мікроклімат.

Введення. Стрімкий розвиток цифрових технологій та радикальні суспільні зрушення сьогодення позначаються на психологічному портреті сучасної дитини серйозними проблемами – відчуженням від реального соціуму. Самі обставини змушують переосмислити наявні соціокультурні середовища. Вони мають трансформуватися у безпечний простір первинної соціалізації, де плекаються гуманні цінності та вибудовується емпатична взаємодія. Попри тривалу історію та доведений потенціал дитячого хорового співу як «суспільнотворчого інструменту», у реальній педагогічній практиці все ще спостерігається суттєвий дисбаланс між технологічно-виконавським навчанням та цілеспрямованим використанням соціопсихологічного ресурсу колективу. Проблема полягає в необхідності теоретичного та практичного розв’язання суперечності між прагненням сучасного хорознавства розглядати дитячий хор як складну емерджентну систему, що базується на синергії та командній взаємодії, і реальним станом репетиційного процесу, де нерідко домінує авторитарний

підхід. Поряд із цим актуальним залишається вивчення дитячого образу світу в хоровому мистецтві. Важливе значення має також аналіз відмінностей між шкільним (формальним) та гуртковим (неформальним) середовищами, де критерієм порівняння виступає психологічний комфорт учасників.

Мета та задачі дослідження. Мета статті полягає в теоретичному обґрунтуванні соціокультурних та педагогічних умов, за яких дитячий хоровий колектив стає базовим середовищем первинної соціалізації особистості.

Досягнення мети вимагає розв'язання таких концептуальних завдань: обґрунтувати сутність дитячого хору як синергетичної системи та суспільнотворчого чинника; визначити параметри оптимального балансу між індивідуальністю особистості та багатоголосним цілим у процесі її первинної соціалізації.

Методологічну основу дослідження становить холістичний підхід, що спирається: на концепцію Л. Долинської [2] про хор як складну систему з властивостями емерджентності та синергії, де індивідуальне виконавське начало підпорядковане художньому цілому; на філософсько-естетичний підхід та положення І. Бермес [1] про хорове мистецтво як потужний суспільнотворчий інструмент гармонізації соціуму та розвитку гуманних рис особистості. Також залучено теорію самодетермінації (SDT), розроблену в 1970–1980-х роках американськими психологами Едвардом Деці (Edward L. Deci) та Річардом Раяном (Richard M. Ryan), в інтерпретації словенських дослідників (J. Blagojević, K. Habe, B. Bajec) [4], яка застосовується для аналізу соціалізації через задоволення базових психологічних потреб особистості в автономії, компетентності та взаємопов'язаності всередині хорового колективу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні дитячий хор перестав бути виключно територією музичного мистецтва. Його все частіше трактують як простір соціалізації, де дитина вчиться тонкого балансу – утримувати власне «Я» і водночас бути органічною частиною колективного «Ми». Практичний досвід хормейстерів та еволюція композиторського репертуару у XX–XXI століттях зрештою оформили дитяче хорове виконавство в окрему самодостатню галузь. Дитячий хор дійсно набув, за висловом Л. Долинської, «статусу повноправної частини мистецького тезаурусу» [2, с. 1]. Але науковиця підкреслює, що спроба поєднати хорове мистецтво із сучасним дитячим світоглядом та новою філософією дитинства сьогодні «представляє актуальний зріз сучасних наукових розвідок» [2, с. 1].

За своєю природою хорове мистецтво здавна є антропологічним інструментом. Сама суть хорового співу полягає у подвійному ефекті: він урівноважує суспільні взаємини та паралельно стимулює внутрішній розвиток особистості. Як зазначає І. Бермес, хорова діяльність виступає «потужним суспільнотворчим інструментом», значення якого у вихованні гуманних рис було помічено ще в античності [1, с. 9]. У вирі сучасних соціокультурних зрушень хорове мистецтво стає тим досвідом соціалізації, завдяки якому, за влучним спостереженням І. Бермес, естетичні закони партитури перетворюються на внутрішні орієнтири, навчаючи дитину бачити цінність і гармонію в повсякденному житті [1, с. 9].

Особлива природа дитячого хору зумовлена його системною архітектонікою. Хор функціонує як холістичний організм, де виникає ефект синергії. На практиці це означає, що поєднання хорових партій створює нову художню якість – емерджентне звучання. Л. Долинська характеризує його як «непросту суму» виконавських зусиль, де амбіції окремого виконавця врівноважуються потребами загального художнього цілого [2, с. 7]. Наведена думка суголосна позиції групи словенських науковців (J. Blagojević, K. Habe, B. Bajec), які підкреслюють, що, на відміну від сольних виступів, хорова практика імперативно вимагає від дитини активної колаборації, взаємного слухання, часопросторової синхронності та спільної відповідальності за загальний результат [4, с. 2].

Те, як дитина інтегрується в таку складну систему, напряму залежить від її психофізіології та внутрішньої уваги. Спільний спів вимагає від хориста постійного вольового зусилля, тривалість якого визначається типом нервової системи. Л. Остапенко справедливо зазначає, що «стійка увага говорить про загальну активність» дитини, тоді як пасивніші діти швидше виснажуються та «вимикаються» з процесу [3, с. 498]. В такому контексті хор є таким собі «тренажером»: він м’яко структурує поведінку, розвиває волю та допомагає дитині синхронізувати свій внутрішній темпоритм із загальним ритмом колективу [3, с. 498].

Соціоефект хору напряму визначається форматом участі особистості. Існує принципова різниця між жорсткими рамками навчальної дисципліни та гнучким неформальним простором гуртка. Останні дослідження вже згаданих словенських авторів доводять, що соціальні блага спільного музикування діти оцінюють крізь призму того, наскільки добровільним чи вимушеним є їхнє перебування в колективі [4, с. 1]. Зокрема, діти, які співають у позашкільних студіях та клубах, відчувають набагато сильніший зв’язок з однолітками (social connectedness) і отримують більше емоційного задоволення від співу, ніж учасники формально регламентованих хорів [4, с. 1, 13].

Секрет тут криється в добровільності. Підґрунтям для його розуміння є теорія самодетермінації (SDT – self-determination theory), сформульована американськими психологами Е. Деці та Р. Раяном ще наприкінці XX століття. Згідно з їхніми висновками, добровільний вибір задовольняє потреби особистості в автономії та духовному спорідненні. Словенські дослідники Ю. Благоєвич, К. Хабе та Б. Баєц спроєктували теорію SDT на хорове мистецтво. Вони довели, що саме за таких умов між дітьми швидше зав’язується дружба, а почуття самотності зникає [4, с. 15]. Далі вони деталізують механізм: у позашкільному (неформальному) просторі дитина відчуває безпеку, яка дає їй змогу розкритися і сприймати колектив як емоційну опору, а не як конкурентів. Натомість інституційний пресинг оцінювання у формально регламентованому хорі переорієнтовує увагу з радості спільного творення на страх помилки. Стаття Ю. Благоєвич, К. Хабе та Б. Баєца [4] доводить, що соціоефект хорового співу не виникає автоматично – він цілковито залежить від мікроклімату та свободи

вибору дитини. Сформульований ними висновок закриває тривалу дискусію в педагогіці про «абсолютну користь» будь-якого хору, показуючи, що художній результат не повинен досягатися ціною психологічного благополуччя.

Виклад основного матеріалу. Щоб осмислити дитячий хор як мікромодель ідеального соціуму, необхідно детально проаналізувати, як саме виконавський індивідуалізм переростає в командну синергію. Оскільки перехід не відбувається сам по собі, лише тому, що діти опинилися в одному класі. Ми маємо справу з глибокою, послідовною трансформацією всієї соціоцентричної структури колективу.

На першому етапі, деконструкції виконавського егоцентризму, хор є лише сукупністю «солістів», де кожна дитина зосереджена суто на власному голосі та самопрезентації. Головна суперечність тут виникає між сольним мисленням та вимогами ансамблю. Бар'єр долається шляхом розвитку гнучкості уваги, коли хорист вчиться поєднувати внутрішній контроль (свій спів) із зовнішнім – слухати сусідів по партії та бачити жест диригента.

Далі процес переходить на етап темброво-групової ідентифікації. Тут запускається первинна інтеграція через звукове та психологічне злиття дітей всередині своєї тембрової групи. Формується локальне «Ми», а головним соціокультурним ефектом стає виховання відповідальності.

Фінальною точкою трансформації є етап інтерпретаційної синергії, коли хор нарешті перетворюється на цілісний соціокультурний організм із якісно новим, емерджентним звучанням. Справжня командна синергія народжується тоді, коли кожен виконавець виходить за межі своєї партії, починає мислити категоріями всієї партитури (твору) та емпатично відчуває смисловий та динамічний баланс усього колективу.

Соціальна сила такої моделі цілковито залежить від атмосфери, яку створює керівник. Щоб хор став для дитини простором справжнього зближення, диригент має вибудувати гнучку систему, засновану на двох важливих орієнтирах.

Першим кроком є баланс дисципліни та свободи. Коли на репетиції панує сухий контроль, дитяча радість згасає, поступаючись місцем тривозі. Натомість живі ігрові формати пробуджують у дитини щире, внутрішнє бажання співати.

Фундаментом цієї системи виступає психологічна безпека. Справжня синергія народжується там, де немає місця залякуванню, оцінкам чи висміюванню перед однолітками. Помилка на репетиції – це не особиста провина чи ганьба, а просто привід підставити плече та шукати спільне рішення. Зрештою, дитячий хор стає школою життя лише тоді, коли сувора вокальна технологія поступається місцем людяності. Саме тоді звичайна репетиція перетворюється на досвід побудови згуртованого суспільства в мініатюрі.

Результати дослідження і їх обговорення. Запропонована модель триетапної трансформації хору пояснює ті емпіричні розриви, які зафіксували у своїх дослідженнях Ю. Благоєвич, К. Хабе та Б. Баєц [4]. Стає зрозуміло, чому аматорські колективи виграють у формалізованих навчальною програмою за рівнем емоційного благополуччя. У вільному гуртковому просторі дитина

безболісно проходить шлях від особистого егоцентризму до командного «Ми», адже її воля й увага не пригнічуються страхом перед оцінкою чи критикою.

Справжня хорова синергія, яку словенські дослідники визначають як social connectedness (соціальна пов'язаність), є результатом психологічної безпеки. Наш аналіз підтверджує: хор захищає від самотності та зцілює лише тоді, коли репетиція очищена від токсичного суперництва. Коли диригент переносить фокус із сухого технологічного результату на виховання емпатії, колектив миттєво реагує – хор перетворюється на живе соціальне дзеркало, в якому особистість дитини формує свій перший успішний досвід взаємодії з суспільством.

Висновки. Теоретичне осмислення соціокультурного потенціалу хорового виконавства доводить, що спільний спів виходить далеко за межі суто художньо-естетичних завдань і є потужним інструментом виховання. Зіставлення сучасних емпіричних досліджень у межах теорії самодетермінації виявляє суттєву залежність емоційного стану дитини від інституційного формату занять. Вільний вибір неформального гурткового середовища значно ефективніше стимулює соціалізацію.

У статті обґрунтовано, що перехід від виконавського індивідуалізму до командної синергії є результатом послідовної триетапної еволюції колективу, яка розгортається крізь рівні атомізації (деконструкція егоцентризму), локальної солідарності (темброво-групова ідентифікація) та холістичної інтеграції. Зазначена трансформація безпосередньо корелює зі стійкістю уваги та загальною активністю дитини.

Отже, дитячий хор є дієвим середовищем первинної соціалізації лише за умови свідомого моделювання мікроклімату керівником колективу. Процес вимагає гнучкого поєднання дисципліни зі свободою вибору та створення психологічної безпеки. Саме за таких умов хоровий колектив перетворюється на збалансований мікросоціум, де кожна дитина здобуває свій перший позитивний капітал суспільної взаємодії. Вона починає мислити категоріями спільного результату, де власний голос є вагомим, але лише в координації з голосами інших.

Список використаних джерел

1. Бермес І. Про вплив хорового мистецтва на особистість: історичний екскурс. Art Science: Traditions and Innovations. 2023. № 1. С. 5–10. DOI: https://doi.org/10.32782/art-studies.2023-1-1
2. Долинська Л. Дитячий хор як виконавський феномен в жанровій системі музичного мистецтва : автореф. дис. ... канд. мистецтвознавства : 17.00.03. Одеса, 2018. 20 с.
3. Остапенко Л. Основні принципи роботи з дитячим вокально-хоровим колективом. Молодий вчений. 2017. № 10 (50). Педагогічні науки. С. 495–500.
4. Blagojević J., Habe K., Bajec B. Differences in Experiencing Well-Being in Youth Choir Singers Regarding (In)Formal Participation. Behavioral Sciences. 2025. Vol. 15, no. 10. Art. 1337. DOI: https://doi.org/10.3390/bs15101337

DOI 10.70286/EOSS-20.07.2026.030.345-351

ЛОГОПЕДІЯ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ: ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД РОБОТИ В МІЖНАРОДНІЙ ОНЛАЙН-ШКОЛІ «GOVORIKA»

Бєлова Олена Сергіївна
вчитель логопед
міжнародної онлайн-школи «Govorika»

Анотація. У статті досліджено потенціал цифрової логопедії як ефективного інструменту надання корекційно-розвиткової допомоги дітям під час цифрової модернізації освіти. Проаналізовано провідні тенденції становлення цифрового середовища у логопедичній практиці, визначено специфіку використання інформаційно-комунікаційних технологій задля забезпечення гнучкості, безперервності та персоналізації супроводу. Узагальнено практичні кейси міжнародної онлайн-школи логопедичної допомоги, описано алгоритми побудови індивідуальних корекційних траєкторій, інтеграцію інтерактивних сервісів, сучасних педагогічних підходів та електронного моніторингу результатів.

За підсумками апробації розробленої моделі зафіксовано зростання середнього рівня сформованості мовленнєвих навичок із 47 % до 70 % та збільшення високого рівня досягнень дітей з 20 % до 70 %. Емпіричні дані доводять доцільність та ефективність системного впровадження інноваційних цифрових технологій у сучасну корекційно-педагогічну практику.

Ключові слова: цифрова логопедія; цифрова трансформація освіти; логопедична допомога; онлайн-навчання; корекційно-розвитковий супровід; цифрове освітнє середовище; індивідуалізація; логопедичний моніторинг; діти з особливими освітніми потребами.

Введення. Глобальні соціальні виклики та стрімкий технологічний прогрес зумовлюють глибоку модернізацію сучасної освіти. Цифрові рішення перестали бути суто допоміжними й перетворилися на стрижневу умову для розбудови безперервного, доступного та інклюзивного освітнього середовища. Особливого значення цей процес набуває у сфері корекційно-розвиткової допомоги, де новітні технології відкривають унікальні можливості для гнучкої персоналізації підтримки дітей із різними нозологіями та розширення меж традиційного кабінету логопеда.

Для опису сучасного мінливого соціокультурного та технологічного контексту науковці дедалі частіше послуговуються концепціями VUCA та BANI світів, що маркують еволюцію суспільних процесів від складності до високого рівня турбулентності й невизначеності [9]. Поняття VUCA (Volatility —

мінливість, Uncertainty — невизначеність, Complexity — складність, Ambiguity — двозначність) сформоване на основі праць В. Бенніса та Б. Нануса, тривалий час описувало динамічне та нестабільне середовище [10; 17, p. 42].

Проте у 2020 році американський футуролог Джамайс Кашіо обґрунтував нову парадигму — BANI світ (Brittle — крихкий, Anxious — тривожний, Nonlinear — нелінійний, Incomprehensible — незбагненний), який точніше відображає сучасні реалії [12]. Цей перехід безпосередньо корелює із цифровим стрибком, інтеграцією штучного інтелекту та систем великих даних, що вимагає радикального переосмислення класичних психолого-педагогічних підходів, зокрема й у площині логопедичного супроводу [17, p. 85; 18].

Цифрова трансформація змінила парадигму взаємодії між логопедом, дитиною та її родиною. Якщо раніше дистанційний формат розглядався переважно як альтернативна чи вимушена форма роботи, то сьогодні він трансформувався у цілісну систему онлайн-взаємодії. Досліджуючи цей феномен, О. Косенчук та І. Новик визначають онлайн-навчання як чітко організований процес, що базується на ІКТ та створює оптимальні умови для індивідуалізації [6, с. 19]. Н. Жевакіна акцентує на інтерактивному характері такої взаємодії, що дозволяє гнучко моделювати освітню траєкторію дитини відповідно до її психофізичного потенціалу [2, с. 71]. Водночас Л. Жданюк, Л. Зімакова та О. Тупиця підкреслюють, що продуктивність онлайн-формату безпосередньо залежить від трибічного партнерства, де батьки стають ко-терапевтами та активними учасниками процесу [3, с. 95].

Сучасна онлайн-логопедія виходить далеко за межі простих відео дзвінків. Вона передбачає розбудову цифрового середовища, що поєднує спеціалізовані платформи, хмарні рішення, мультимедійну дидактику та інструменти автоматизованого моніторингу. Це дає змогу ефективно працювати з дітьми, які мають тяжкі порушення мовлення, розлади аутистичного спектра (РАС), синдром дефіциту уваги та гіперактивності (СДУГ), затримку мовленнєвого розвитку (ЗМР) тощо. Як зазначають О. Омельченко, О. Кузнецова та Н. Аматьєва, успіх такої роботи залежить від глибокої адаптації класичних методик до цифрового формату та системного залучення родини до закріплення навичок у повсякденні [7, с. 49].

Аналіз науково-практичного дискурсу останніх років дозволяє виокремити три ключові етапи еволюції дистанційної логопедії:

- 2020–2022 рр. — етап адаптації: дистанційні заняття як вимушена відповідь на виклики пандемії та соціальної ізоляції;
- 2023–2024 рр. — етап стандартизації: оформлення теле-логопедії як самостійного й легітимного напряму професійної практики;
- 2025–2026 рр. — етап екосистемної інтеграції: становлення цифрової логопедії (digital speech therapy), що поєднує спеціалізовані платформи, елементи штучного інтелекту, цифрову аналітику та персоналізовані інтерактивні ресурси.

Мета-аналізи та систематичні огляди доводять, що за умови коректного добору цифрового інструментарію та високої залученості сім'ї результативність

теле-логопедії не поступається традиційному очному прийому [19, p. 1208; 20]. Новітня цифрова логопедія використовує гейміфікацію, алгоритми розпізнавання мовлення та автоматизовану аналітику для створення кастомізованого контенту під індивідуальні потреби дитини [13; 16]. Змінюється й роль батьків: вони перетворюються з пасивних спостерігачів на менеджерів домашнього цифрового мікросередовища, забезпечуючи перенесення сформованих мовленнєвих стереотипів у реальне комунікативне середовище [16; 19, p. 1211].

Мета дослідження — теоретично обґрунтувати та практично перевірити можливості цифрової логопедії у забезпеченні ефективного корекційно-розвиткового супроводу дітей на основі аналізу досвіду роботи міжнародної онлайн-школи «Govorika».

Завдання дослідження:

1. Здійснити теоретичний аналіз провідних тенденцій цифровізації логопедичної практики в умовах модернізації освітнього простору;
2. Обґрунтувати теоретико-методичні засади функціонування цифрової логопедії, розкривши її роль у контексті індивідуалізації, забезпечення стабільного (безперебійного) та варіативного корекційного супроводу;
3. Узагальнити практичний кейс діяльності міжнародної онлайн-школи «Govorika» та емпірично перевірити ефективність розробленої екосистемної моделі на основі даних електронного моніторингу.

Результати дослідження та їх обговорення.

Для верифікації теоретичних положень було детально проаналізовано практичний кейс діяльності міжнародної онлайн-школи «Govorika», заснованої логопедом-практиком Тетяною Дьоміною. За понад 15 років функціонування проєкт еволюціонував від локальної практики до масштабної міжнародної цифрової екосистеми, що об'єднує понад 500 кваліфікованих фахівців, які надають допомогу дітям (зокрема білінгвам та мультилінгвам) із більш ніж 50 країн світу. Такий масштаб підтверджує життєздатність та високу адаптивність обраної цифрової моделі.

Впроваджена у школі «Govorika» модель базується на створенні комплексного онлайн-сервісу, де кожне заняття інтегрує індивідуалізований контент, інтерактивні дидактичні матеріали та засоби об'єктивного цифрового контролю. Концептуальним ядром роботи є безумовна індивідуалізація, що повністю узгоджується з положеннями сучасної спеціальної педагогіки щодо врахування унікального потенціалу та особливих освітніх потреб кожної дитини [5, с. 34]. Методична архітектура занять конструюється з урахуванням не лише хронологічного віку, а й структури мовленнєвого порушення, стану когнітивної та мотиваційної сфер, здатності до саморегуляції. Це відповідає світовим стандартам комплексного оцінювання розвитку дитини [11, p. 112; 14; 15].

Практичний алгоритм логопедичного супроводу в онлайн-школі реалізується через систему послідовних кроків та представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 Компонентна структура та етапи реалізації онлайн-логопедичного супроводу в системі «Govorika»

Назва етапу	Цільове призначення	Інструментарій та цифрові рішення
1. Пропедевтико-діагностичний	Системний моніторинг мовленнєвого профілю у поєднанні з аналізом специфіки психофізіологічного стану здобувача освіти	Діагностичні цифрові карти, інтерактивні тести, стандартизовані онлайн-проби
2. Концептуально-проектувальний	Моделювання індивідуальної траєкторії розвитку, персоналізація дидактичного наповнення	Електронний профіль дитини, конструктор індивідуальних корекційних планів
3. Інтеграційно-технологічний	Системний корекційно-розвитковий вплив, актуалізація мовленнєвої діяльності, тріадне партнерство	Спеціалізована онлайн-платформа, мультимедійні кейси, цифрові мнемотехніки, скрайбінг, кабінет для батьків
4. Моніторингово-рефлексивний	Об'єктивна оцінка результативності, верифікація динаміки сформованості навичок	Внутрішня аналітична система автоматичного підрахунку досягнення мікро- та макроцілей

Цифрові інструменти використовуються не як візуальна декорація, а як точковий педагогічний інструментарій. Окрім авторських анімованих презентацій та гейміфікованих вправ, активно застосовуються сучасні освітні технології: мнемотехніка, технології розвитку критичного мислення, сторітелінг, інтелект-карти, скрайбінг, кластери та синквейни. Такий підхід суттєво підвищує мотивацію дитини до мовленнєвої діяльності та активізує пізнавальний інтерес [4, с. 21; 8]].

Для оцінки ефективності запропонованої моделі було проведено тримісячний моніторинг результатів корекційної роботи з групою із 10 дітей віком від 4 до 8 років. Фіксація динаміки здійснювалася за допомогою внутрішньої електронної системи, яка автоматично вираховувала відсоток досягнення мікро- та макро-цілей, що стало основою для моніторингу логопедом (таблиця 2).

Таблиця 2 Результати моніторингу сформованості індивідуальних корекційно-розвиткових цілей учасників дослідження

Напрям корекційно-розвиткової роботи	Первинне оцінювання, %	Повторне оцінювання, %	Прогрес, %
Артикуляційна гімнастика	46	71	25
Дихальна гімнастика	58	78	20
Формування правильної звуковимови	39	61	22

Продовження табл.2

Напрям корекційно-розвиткової роботи	**Первинне оцінювання, %**	**Повторне оцінювання, %**	**Прогрес, %**
Розвиток слухової уваги, пам'яті та фонематичного сприймання	43	68	25
Розвиток дрібної та загальної моторики	55	75	20
Формування складової структури слова	41	60	19
Розвиток лексико-граматичної складової мовлення	44	66	22
Розвиток вищих психічних функцій	52	74	22
Розвиток комунікативних навичок	49	76	27
Середнє значення	**47**	**70**	**23**

Статистичні дані свідчать про стійку позитивну динаміку за всіма векторами роботи. Середній показник успішності зріс на 23 %. Найвідчутніший приріст зафіксовано у блоці розвитку комунікативних навичок (+27 %), що вказує на подолання психологічних бар'єрів під час онлайн-спілкування. Показники артикуляційної гімнастики та фонематичного сприймання покращилися на 25 %, підтверджуючи високу дидактичну якість інтерактивного інструментарію.

Якісний розподіл учасників за рівнями сформованості навичок продемонстрував суттєве переформатування: якщо на старті високого рівня досягали лише 20 % дітей, то за три місяці цей показник зріс до 70 % (рис. 1). Важливо, що після завершення циклу в групі повністю нівелювалися низький та критично-середній рівні.

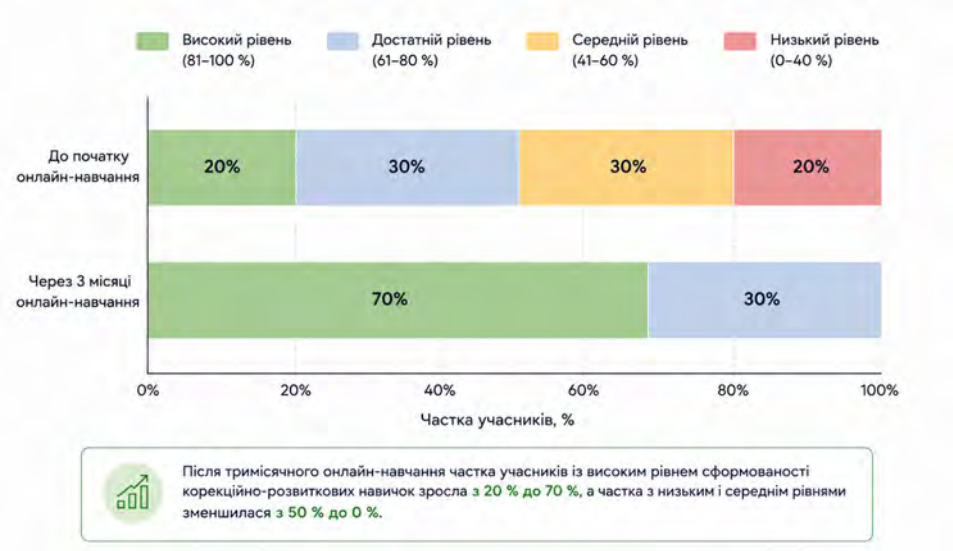


Рисунок 1. Розподіл учасників дослідження за рівнем сформованості корекційно-розвиткових навичок впродовж 3-х місяців онлайн навчання

Додатково можемо зазначити, що успішність школи «Govorika» забезпечується принципом безперервного оновлення її цифрового ядра - постійно інтегруються нові методичні модулі, оновлюються аналітичні алгоритми та розширюється база гейміфікованого контенту. Це узгоджується із

сучасними концепціями цифрової трансформації освіти, де цифрове середовище розглядається не як статичний набір програм, а як динамічна екосистема, що безперервно еволюціонує [1].

Висновки. Цифрова трансформація логопедії є закономірним етапом розвитку спеціальної педагогіки в епоху BANI-світу. Вона ознаменувала перехід від застосування розрізнених комп'ютерних програм до проєктування цілісних цифрових екосистем, зорієнтованих на забезпечення доступності та індивідуалізації допомоги.

Ефективність сучасної цифрової логопедії зумовлена комплексним підходом, який поєднує глибоку діагностику, побудову персоналізованої освітньої траєкторії, використання інтерактивних візуалізаційних технологій, прозорий електронний моніторинг та обов'язкове залучення родини як повноправного суб'єкта корекційного процесу.

Емпіричний аналіз результатів діяльності школи «Govorika» підтвердив високу результативність цифрової моделі: зафіксовано зростання середнього рівня мовленнєвих навичок на 23 %, а частка дітей із високим рівнем досягнень сягнула 70 %.

Практична цінність дослідження полягає в обґрунтуванні дієвості методів цифрової логопедії, які можуть бути екстрапольовані у широку педагогічну практику практикуючими логопедами, спеціальними педагогами, а також адміністрацією закладів освіти для оптимізації процесів моніторингу та підвищення загальної якості корекційного супроводу.

Список використаних джерел

1. Бондаренко, О. В., Буров, О. Ю., Вакалюк, Т. А., Овчарук, О. В., Пінчук, О. П., Спірін, О. М., та Шишкіна, М. П. (2024). Цифрова трансформація відкритих науково-освітніх середовищ (О. М. Спірін та О. П. Пінчук, Ред.). Інститут цифровізації освіти НАПН України. https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/744025/
2. Жевакіна, Н. (2003). Технологія дистанційного навчання: сутність та особливості. Вісник Луганського державного педагогічного університету імені Тараса Шевченка, (4), 68–73.
3. Зімакова, Л., Тупиця, О., та Жданюк, Л. (2022). Дистанційне навчання дітей дошкільного віку на засадах партнерської педагогіки під час воєнного стану. Педагогічні науки, (79), 92–100. http://pednauki.pnpu.edu.ua/article/view/264557/260995
4. Коломоєць, Т. Г. (2023). Використання цифрових технологій у логопедичній роботі. Науковий часопис Українського державного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 19. Корекційна педагогіка та спеціальна психологія, (44), 17–23. https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series19.2023.44.03
5. Колупаєва, А. А., та Таранченко, О. М. (2016). Інклюзивна освіта: від основ до практики. ТОВ «АТОПОЛ».
6. Косенчук, О., та Новик, І. (2020). Організація діяльності закладів дошкільної освіти в період пандемії. Дошкільне виховання, (9), 17–21.

7. Омельченко, М., Кузнецова, Т., та Аматьєва, О. (2024). Досвід роботи закладів дошкільної освіти щодо дистанційного навчання дітей з особливими освітніми потребами під час війни. Корекційна педагогіка, 71(2), 47–51.
8. Цибулько, А. О. (2025). Використання цифрових технологій у корекційній роботі при заїканні. Наукові записки Українського державного університету імені М. П. Драгоманова, (162). https://doi.org/10.31392/NZ-udu-162.2025.16
9. After VUCA, the transformation to a BANI world. (2021). After VUCA, the transformation to a BANI world. LLORENTE & CUENCA. https://ideasen.llorenteycuenca.com/2021/03/16/aftervuca-the-transformation-to-a-bani-world/
10. Bennis, W., та Nanus, B. (1985). Leaders: Strategies for taking charge. Harper & Row.
11. Bishop, D. V. M. (1997). Uncommon understanding: Development and disorders of language comprehension in children. Psychology Press.
12. Cascio J. (2020). Facing the age of chaos. Medium. https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687bda9f7
13. Deka C., Shrivastava A., Abraham A. K., Nautiyal, S., та Chauhan, P. (2022). AI-based automated speech therapy tools for persons with speech sound disorders: A systematic literature review. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.10325
14. Dodd, B. (2005). Differential diagnosis and treatment of children with speech disorder (2nd ed.). Whurr Publishers.
15. Fletcher, P., та Garman, M. (1997). Language acquisition: Studies in first language development (2nd ed.). Cambridge University Press.
16. Georgiou, G. P. (2025). Transforming speech-language pathology with AI: Opportunities, challenges, and ethical guidelines. Healthcare, 13(19), Article 2460. https://doi.org/10.3390/healthcare13192460
17. Johansen, B. (2012). Leaders make the future: Ten new leadership skills for an uncertain world (2nd ed.). Berrett-Koehler Publishers.
18. OECD. (2023). OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/c74f03de-en
19. Scott, A. M., Clark, J., Cardona, M., Atkins, T., Peiris, R., Greenwood, H., Wenke, R., Cardell, E., та Glasziou, P. (2025). Telehealth versus face-to-face delivery of speech language pathology services: A systematic review and meta-analysis. Journal of Telemedicine and Telecare, 31(9), 1203–1215. https://doi.org/10.1177/1357633X241272976
20. Vanderauwera, J., Vanden Bempt, F., D'haenens, W., та ін. (2026). The effectiveness of telepractice for speech-language pathology intervention with children younger than 12 years: A meta-analysis. Journal of Telemedicine and Telecare.

DIGITAL TRANSFORMATION AND THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES INTO TEACHING AND LEARNING IN GERMANY'S SECONDARY EDUCATION SYSTEM

Ali Sadigov Ogtay oglu
Baku, Azerbaijan

Abstract

This study examined digital transformation and the integration of artificial intelligence technologies into teaching and learning in Germany's secondary education system through comparative quantitative analysis, document review, and SWOT and PEST frameworks. The research compared Germany with international and European benchmarks using indicators related to students' digital competence, teachers' use of digital technologies, school infrastructure, policy development, and responsible AI governance. The findings show that Germany possesses a strong institutional and regulatory foundation for digital education. National strategies, teacher professionalisation initiatives, data protection standards, and the increasing availability of learning management systems create favourable conditions for innovation. Teacher use of digital media has expanded considerably. However, these advances have not been accompanied by an equivalent improvement in students' digital competence. A substantial proportion of students remain at low competence levels, while access to reliable internet, updated equipment, and student-centred digital learning opportunities differs across schools and federal states. The analysis further demonstrates that artificial intelligence can support personalised learning, formative feedback, multilingual education, accessibility, lesson planning, and differentiated instruction. At the same time, it creates risks related to algorithmic bias, inaccurate content, academic integrity, data privacy, commercial dependence, and unequal access. The SWOT analysis identified Germany's policy capacity, legal safeguards, and teacher authority as strengths, whereas fragmented implementation and uneven infrastructure were recognised as weaknesses. The PEST analysis showed that federal governance, long-term financing, public trust, and technological reliability will influence future implementation. The study concludes that successful AI integration should not be measured by the number of technologies adopted, but by their contribution to critical thinking, inclusion, learning quality, and student autonomy. Germany should therefore prioritise systematic AI literacy, subject-specific teacher training, secure educational platforms, redesigned assessment practices, and continuous evaluation of educational outcomes. Such an approach can transform AI from a technical innovation into a responsible pedagogical instrument.

Keywords: digital transformation; artificial intelligence in education; secondary education; Germany; digital competence.

1. Introduction

Digital transformation has become one of the principal forces reshaping contemporary education systems. It influences not only the technological infrastructure of schools but also teaching methods, curriculum design, assessment practices, teacher competencies, school management, and the relationship between learners and educational information. In this context, digital transformation should not be understood merely as the replacement of printed materials with electronic resources. Rather, it represents a systemic process through which digital technologies are incorporated into the organisational, pedagogical, and cultural structures of education.

Secondary education occupies a particularly important position in this process. At this educational stage, students are expected to develop the digital, informational, social, and cognitive competencies required for higher education, employment, and active participation in a technology-oriented society. International assessments define computer and information literacy as the ability to use digital technologies to investigate, create, participate, and communicate effectively in different areas of life. Therefore, schools are responsible not only for teaching students how to operate digital devices but also for developing their ability to assess information critically, solve problems, create digital content, protect personal data, and use technologies responsibly (Fraillon et al., 2020).

Germany constitutes a significant case for examining digital transformation because responsibility for school education is primarily distributed among the federal states. Consequently, digitalisation policies are implemented through cooperation among federal authorities, Länder governments, municipalities, school administrations, and educational institutions. The Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs introduced the national strategy Education in the Digital World in 2016. The strategy established digital competence as a cross-curricular educational objective and emphasised that students should acquire relevant digital competencies during compulsory schooling (Sekretariat der Kultusministerkonferenz [KMK], 2016).

The German approach was further developed through the 2021 recommendation Teaching and Learning in the Digital World. This document shifted attention from the availability of devices and internet access to the quality of digitally supported teaching, school development, teacher professionalism, curriculum design, and organisational change. The recommendation indicates that sustainable digital transformation requires interaction among instructional development, personnel development, technological infrastructure, and institutional leadership rather than isolated investments in hardware (KMK, 2021).

Artificial intelligence has introduced a new stage of educational digitalisation. AI in education generally refers to the use of computational systems capable of analysing data, recognising patterns, producing recommendations, generating content, or adapting educational activities to support teaching, learning, assessment, and educational decision-making (Hwang et al., 2020). AI-based educational applications may include intelligent tutoring systems, adaptive learning platforms, automated

feedback, learning analytics, language-processing tools, recommendation systems, virtual assistants, and generative AI applications.

Generative AI has expanded the scope of this transformation by enabling students and teachers to produce text, images, computer code, explanations, summaries, and learning materials through natural-language interaction. Such tools may support differentiated instruction, lesson preparation, idea generation, language learning, formative feedback, and access to educational materials. However, they may also generate inaccurate information, reproduce algorithmic bias, weaken independent thinking, create academic integrity problems, and expose personal or educational data. UNESCO therefore emphasises that generative AI should be introduced through a human-centred, age-appropriate, ethical, and pedagogically justified approach (Miao & Holmes, 2023).

Germany has increasingly responded to these developments at the policy level. In 2024, the German Conference of Education Ministers adopted recommendations concerning AI in school education. These recommendations advocate a constructively critical approach to AI, the development of appropriate educational applications through cooperation among schools, educational researchers, and technology providers, and the creation of conditions that allow schools to test AI-supported teaching models responsibly (KMK, 2024).Nevertheless, the successful integration of AI into secondary education cannot be measured simply by the number of schools using digital platforms or generative AI tools. It depends on whether these technologies improve learning quality, preserve teacher agency, promote inclusion, protect students' rights, and support the development of meaningful competencies. The educational value of AI emerges only when technology is aligned with curriculum objectives, pedagogical methods, assessment criteria, ethical principles, and the developmental needs of students. Against this background, the purpose of this study is to examine the main dimensions of digital transformation in Germany's secondary education system and to analyse the opportunities, pedagogical conditions, and risks associated with integrating artificial intelligence technologies into teaching and learning. Particular attention is devoted to Germany's digital education policies, teacher competencies, AI-supported personalisation, assessment transformation, data governance, educational equity, and the changing roles of teachers and students.

The study is based on the proposition that AI should function as a pedagogical support mechanism rather than an autonomous substitute for teachers. From this perspective, effective integration requires a balanced model in which technological innovation is combined with professional teacher judgement, student autonomy, ethical governance, and evidence-based instructional design.

2. Theoretical Foundations

The concepts of digitisation, digitalisation, and digital transformation are related but not identical. Digitisation refers mainly to converting analogue information into digital form. Examples include scanning textbooks, storing student records electronically, or converting paper-based assignments into digital documents. Digitalisation involves using digital technologies to improve existing educational

processes, such as delivering lessons through learning management systems, conducting online assessments, or using digital communication platforms.Digital transformation is broader and more structural. It involves redesigning educational processes, organisational relationships, teaching practices, and institutional cultures through digital technologies. According to the OECD (2023), an effective digital education ecosystem consists of interconnected infrastructure, digital resources, governance arrangements, teacher competencies, assessment systems, information platforms, and institutional stakeholders. Therefore, digital transformation cannot be achieved through technological procurement alone; it requires coherence between educational goals, technological systems, people, regulations, and organisational practices.

From a socio-technical perspective, educational transformation emerges from interaction among technological and social components. Devices, software, algorithms, and digital platforms constitute the technical dimension, while teachers, learners, administrators, regulations, cultural norms, and pedagogical practices constitute the social dimension. A technically advanced platform may fail to improve learning when teachers lack appropriate professional preparation or when its design does not correspond to students' needs. Conversely, pedagogically competent teachers may be unable to implement digital innovation when infrastructure, technical support, or data-protection procedures are inadequate. The ecosystem approach is especially relevant to Germany because its decentralised education system requires coordination among multiple actors. National and interstate strategies can establish common objectives, but their practical implementation is shaped by the policies, resources, curricula, and professional-development systems of individual Länder. Digital transformation must therefore be analysed at macro, meso, and micro levels. The macro level includes national and regional policies; the meso level concerns schools, leadership, and organisational capacity; and the micro level includes classroom interaction, teaching methods, and student learning.

The pedagogical integration of digital and AI technologies can be explained through constructivist learning theory. Constructivism views learning as an active process in which learners build knowledge by connecting new information with previous experiences, solving problems, collaborating, and reflecting on their understanding. Within this approach, technologies should not merely transmit information. They should create environments in which students can investigate, experiment, communicate, produce content, and receive meaningful feedback.AI-supported platforms may contribute to constructivist learning by offering simulations, interactive problems, differentiated tasks, immediate feedback, and access to multiple representations of knowledge. Generative AI may also support brainstorming, questioning, comparison, explanation, and revision. Nevertheless, educational effectiveness depends on the nature of the tasks designed by teachers. When AI is used only to provide ready-made answers, it may reduce cognitive engagement. When it is used to encourage students to evaluate, correct, compare, and improve generated content, it can contribute to critical thinking and metacognitive development.

The learner-centred model also requires differentiation. Students in the same classroom may have different learning speeds, prior knowledge, linguistic backgrounds, and educational needs. AI systems can analyse patterns of student performance and offer tasks or resources adapted to different levels. Holmes et al. (2019) explain that AI applications may support personalised learning by identifying learning difficulties, recommending educational content, and providing targeted feedback. However, personalisation must not isolate students or replace collaborative learning, classroom discussion, and social interaction.

Artificial Intelligence in Education is an interdisciplinary field situated at the intersection of computer science, pedagogy, psychology, learning sciences, data science, and educational management. Its purpose is not simply to introduce intelligent software into classrooms but to investigate how AI can respond to educational needs and contribute to effective teaching, learning, and decision-making (Hwang et al., 2020).AI applications in secondary education can be classified into three broad categories. The first category includes learner-oriented systems, such as intelligent tutoring programmes, adaptive learning environments, automated feedback systems, language-learning tools, and virtual learning assistants. These systems interact directly with students and attempt to adjust learning experiences according to individual performance.

The second category consists of teacher-oriented applications. These tools may support lesson planning, preparation of differentiated materials, formative assessment, identification of common misconceptions, generation of exercises, and analysis of student progress. They may reduce routine workload, but their outputs must be reviewed by teachers because AI-generated materials can contain factual, cultural, or pedagogical errors. The third category includes institution-oriented systems used for educational administration, school planning, data analysis, and resource management. Such systems may help identify participation patterns, support early intervention, or improve the coordination of school services. However, predictive systems used in education require particular caution because inaccurate or biased models may influence decisions about students' abilities and educational opportunities. Theoretically, AI should be understood as an augmentation technology. Its central function is to extend human capacity rather than replace human responsibility. Teachers possess contextual, emotional, moral, and pedagogical knowledge that cannot be reduced to algorithmic analysis. Therefore, final responsibility for instructional decisions, evaluation, student support, and classroom relationships must remain with qualified educators.

The Technological Pedagogical Content Knowledge model provides an important framework for analysing teachers' readiness for digital and AI-supported education. According to Mishra and Koehler (2006), effective technology integration depends on the interaction of three knowledge domains: content knowledge, pedagogical knowledge, and technological knowledge. Content knowledge refers to the teacher's understanding of the subject being taught. Pedagogical knowledge includes knowledge of teaching methods, classroom management, assessment, and learning processes. Technological knowledge concerns the ability to select, use, and evaluate digital tools.

Effective integration occurs when these knowledge areas are combined rather than applied separately. For example, using a generative AI application in a history lesson requires more than knowing how to operate the system. The teacher must understand the historical topic, design an appropriate learning activity, anticipate possible inaccuracies, and teach students how to verify generated claims against reliable sources. Similarly, using AI in language education requires pedagogical decisions about feedback, vocabulary level, authorship, and the balance between automated assistance and students' independent production. The European DigCompEdu framework complements this approach by identifying 22 educator competencies organised into six areas, including professional engagement, digital resources, teaching and learning, assessment, learner empowerment, and facilitating learners' digital competence (Redecker, 2017).These frameworks demonstrate that teachers' digital competence involves far more than technical skills. Teachers must be able to select appropriate tools, evaluate digital content, design inclusive activities, protect data, interpret digital assessment information, and help students become responsible technology users.

Students' digital competence includes the ability to find and evaluate information, communicate through digital environments, produce content, protect personal information, solve technology-related problems, and participate responsibly in digital society. Germany's 2016 digital education strategy treats these competencies as cross-curricular responsibilities rather than the exclusive domain of computer science lessons (KMK, 2016).AI literacy represents an extension of general digital literacy. It includes understanding the basic principles of AI, recognising situations in which AI is being used, evaluating AI-generated outputs, identifying potential bias, protecting data, and understanding the social consequences of automated systems. Students should also learn that AI outputs are probabilistic rather than inherently true. UNESCO's AI competency framework for students organises AI learning around a human-centred mindset, ethical understanding, knowledge of AI techniques and applications, and the design or responsible use of AI systems. The framework stresses that students should become responsible users and co-creators of AI rather than passive consumers of automated content (Miao et al., 2024).

In secondary education, AI literacy may be developed across different subjects. In language classes, students can evaluate AI-generated texts for coherence and bias. In history, they can verify generated accounts against primary and academic sources. In science, they can explore how data and models are used to generate predictions. In social studies, they can discuss algorithmic discrimination, employment, surveillance, and digital citizenship. This interdisciplinary model reflects the broad impact of AI on contemporary society.

Digital transformation changes the teacher's role but does not eliminate its importance. In AI-supported learning environments, teachers increasingly act as instructional designers, facilitators, mentors, evaluators, and ethical guides. Their work includes selecting appropriate technologies, designing meaningful activities, interpreting data, supporting student motivation, and ensuring that technology use

remains consistent with educational objectives. UNESCO's AI competency framework for teachers identifies five main dimensions: a human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and the use of AI for professional learning. These dimensions indicate that teacher preparation should address not only the technical operation of AI tools but also their ethical, social, pedagogical, and professional implications (Miao & Cukurova, 2024). Teacher agency is a central principle in this context. AI systems should provide information and recommendations without removing teachers' authority to make contextual decisions. An algorithm may detect a pattern in student performance, but the teacher must interpret that information by considering motivation, language background, health, family conditions, classroom participation, and other contextual factors. Continuous professional development is therefore essential. One-time technical training is insufficient because AI applications change rapidly. Teachers require sustained opportunities to experiment, collaborate, share practices, evaluate evidence, and reflect on the consequences of AI-supported teaching.

The integration of AI into secondary education raises important questions concerning privacy, transparency, fairness, accountability, safety, and academic integrity. Students are a particularly protected group because they may not fully understand how their data are collected, processed, and used. Educational institutions must therefore ensure that AI applications comply with data-protection standards and that students, parents, and teachers receive understandable information about how systems operate. Algorithmic bias constitutes another major concern. AI systems are trained on existing data, which may contain social, cultural, gender, linguistic, or economic inequalities. Consequently, AI-generated recommendations and content can reproduce or intensify existing discrimination. Teachers and students need the competence to recognise these risks and critically examine automated outputs. Transparency means that users should know when they are interacting with AI and understand the purpose and limitations of the system. Accountability requires clear responsibility for decisions and outcomes. Schools should not assume that responsibility belongs entirely to technology providers. Educational authorities, school leaders, teachers, and providers must establish clear procedures for selecting, monitoring, and evaluating AI applications.

The European Commission's ethical guidelines encourage primary and secondary educators to assess AI systems critically by considering human agency, fairness, privacy, transparency, safety, and social well-being. The guidelines are designed to enable educators to use AI positively while remaining aware of its potential risks (European Commission, 2022). Academic integrity must also be reconsidered. Generative AI can produce essays, solve exercises, and generate answers that resemble students' independent work. A prohibition-only approach is unlikely to be sufficient. Schools need to redesign tasks and assessment practices so that students demonstrate reasoning, reflection, source evaluation, oral explanation, revision, and application of knowledge. AI use should be disclosed where appropriate, and students should

understand the difference between legitimate assistance and misrepresentation of authorship.

Digital transformation may expand educational opportunities, but it can also deepen inequality. Differences in access to devices, internet connectivity, quiet study environments, technical support, and digital competencies affect students' ability to benefit from technology. The digital divide therefore includes not only access but also the quality and purpose of technology use.AI may support inclusion by providing translation, speech recognition, text-to-speech functions, personalised exercises, and alternative representations of educational content. These applications can be valuable for students with disabilities, language difficulties, or diverse learning needs. Nevertheless, systems that are not designed for linguistic and cultural diversity may exclude certain groups. Equity requires schools to ensure that AI-supported learning remains accessible to all students and does not transfer essential educational costs or responsibilities to families. It also requires teachers to monitor whether personalisation systems create low expectations by repeatedly assigning less demanding tasks to students identified as weaker performers.

On the basis of the discussed theories, the integration of AI into Germany's secondary education system can be analysed through five interrelated dimensions: technological readiness, pedagogical integration, human competencies, governance and ethics, and educational outcomes. Technological readiness includes infrastructure, connectivity, access to devices, software quality, interoperability, and technical support. Pedagogical integration concerns curriculum alignment, instructional design, assessment, feedback, differentiation, and collaborative learning. Human competencies include teachers' digital and AI knowledge, students' AI literacy, school leadership, and professional development. Governance and ethics encompass data protection, transparency, accountability, algorithmic fairness, academic integrity, procurement standards, and participation of relevant stakeholders. Educational outcomes include student engagement, digital competence, critical thinking, subject achievement, inclusion, teacher workload, and school improvement. These dimensions are mutually dependent. Technological readiness without pedagogical competence may result in superficial use. Pedagogical innovation without ethical governance may endanger student rights. Strong policies without professional development may remain unimplemented. Therefore, the successful integration of AI should be evaluated as a systemic educational transformation rather than a purely technological intervention.

3. Methodology

This study employed a comparative mixed-method secondary research design to investigate digital transformation and the integration of artificial intelligence technologies into teaching and learning in Germany's secondary education system. Germany was treated as the principal case, while international data and policy frameworks were used to establish comparative benchmarks.

The mixed-method approach combined three complementary methods:

1. Comparative quantitative analysis of digital competence, technology use, and school infrastructure indicators;

2. Qualitative document and policy analysis of German and international digital education and AI strategies;

3. Strategic environmental analysis through SWOT and PEST frameworks.

The use of these methods made it possible to analyse both measurable educational outcomes and the broader political, pedagogical, technological, ethical, and social environment in which AI is being introduced into German secondary schools.

Table 1 Research methods and their application

Research method	**Main purpose**	**Data examined**	**Expected analytical contribution**
Comparative quantitative analysis	To compare Germany with international and EU benchmarks	ICILS 2023 competence, infrastructure and technology-use indicators	Identification of performance gaps, trends and comparative advantages
Qualitative content analysis	To examine policy priorities and institutional approaches	German KMK strategies, OECD and UNESCO documents	Interpretation of governance, pedagogy, ethics and teacher-development policies
Trend analysis	To assess changes over time	ICILS 2013, 2018 and 2023 results	Evaluation of progress or regression in digital competence and technology use
SWOT analysis	To identify internal and external strategic factors	Synthesised empirical and policy findings	Identification of strengths, weaknesses, opportunities and threats
PEST analysis	To examine the external environment	Political, economic, social and technological factors	Assessment of macro-level conditions affecting AI integration

The study addressed the following research questions:

RQ_1: What is the current level of digital readiness in Germany's secondary education system?

RQ_2: How does Germany compare with international and EU benchmarks in students' digital competence, teachers' use of technology and school infrastructure?

RQ_3: What pedagogical and organisational opportunities does artificial intelligence create for German secondary education?

RQ_4: What ethical, regulatory, infrastructural and equity-related barriers may restrict the effective integration of AI?

RQ_5: What strategic measures are required to improve the sustainable and responsible integration of AI into teaching, learning and assessment?

The principal quantitative source was the German national report of the International Computer and Information Literacy Study 2023. ICILS 2023 assessed eighth-grade students and included data from 35 education systems. The German sample consisted of 230 schools, 5,065 students and 2,302 teachers. Internationally, the study covered 5,299 schools, 132,889 students and 60,835 teachers (Eickelmann et al., 2024).

The policy analysis included the German Standing Conference's digital education strategy, its supplementary recommendation on teaching and learning in a digital world, and the 2024 recommendations concerning AI in school education. International comparison was based on OECD digital education reports and UNESCO's human-centred guidance on generative AI. Germany's 2024 recommendations cover five major areas: teaching and didactics, assessment culture, teacher professionalisation, regulation, and equitable access to generative AI applications (Sekretariat der Kultusministerkonferenz [KMK], 2024).

Table 2 Principal data sources

Source	**Year**	**Geographical scope**	**Main variables used**
ICILS 2023 German report	2024	Germany and 35 participating education systems	Digital competence, teacher use, student use, infrastructure
KMK Digital Education Strategy	2016	Germany	Digital competence and curriculum policy
KMK Supplementary Recommendation	2021	Germany	Digital teaching, school development and teacher competencies
KMK AI Recommendations	2024	Germany	AI pedagogy, assessment, regulation, access and teacher education
OECD Digital Education Outlook	2023	OECD and partner systems	Digital ecosystems, AI governance and educational technology
OECD Digital Education Outlook	2026	International/OECD	Effective pedagogical uses of generative AI
UNESCO Guidance for Generative AI	2023	Global	Human-centred, ethical and age-appropriate AI integration

The quantitative data were analysed using descriptive comparative methods. Germany's values were compared with the ICILS international average, the EU comparison-group average, and selected high-performing systems. Three types of calculations were applied:

$$\text{Absolute difference} = X_{\text{Germany}} - X_{\text{comparison group}}$$

$$\text{Percentage-point change} = P_{\text{new}} - P_{\text{previous}}$$

$$\text{Trend change} = X_{2023} - X_{2018} \text{ or } X_{2023} - X_{2013}$$

The qualitative documents were analysed through a deductive coding framework consisting of seven categories:

- digital infrastructure;
- student digital and AI competence;
- teacher professionalisation;
- pedagogical integration;
- assessment transformation;
- ethics and data governance;
- equity and inclusion.

Information from different sources was subsequently triangulated. For example, statistical evidence concerning infrastructure was compared with policy commitments concerning equitable access, while competence results were examined in relation to curriculum and teacher-education strategies.

The reliability of the quantitative component was supported by the use of ICILS, a standardised international assessment with representative samples and common measurement scales. The validity of the qualitative findings was strengthened through source triangulation involving German policy documents, international comparative reports and global ethical guidance. Nevertheless, several limitations must be recognised. First, the ICILS international average represents participating education systems rather than every country in the world. Second, ICILS data were collected in 2023 and therefore do not fully capture the most recent expansion of generative AI. Third, most available data are descriptive and cannot establish a direct causal relationship between technology use and academic achievement. Fourth, Germany's federal structure may produce substantial variation among the Länder and individual schools. Finally, directly comparable national statistics on the classroom use of generative AI in Germany remain limited.

4. Results and Analysis

Germany achieved an average computer and information literacy score of 502 points in ICILS 2023. This result was 26 points higher than the international participant average of 476 and nine points higher than the EU comparison-group average of 493. Germany was nevertheless below the highest-performing systems: the Republic of Korea obtained 540 points, the Czech Republic 525, Denmark 518 and Taiwan 515 (Eickelmann et al., 2024).

Table 3 Computer and information literacy results in ICILS 2023

Country or comparison group	**Average score**	**Difference from Germany**	**Interpretation**
Republic of Korea	540	Germany: −38	Substantially above Germany
Czech Republic	525	Germany: −23	Significantly above Germany
Denmark	518	Germany: −16	Above Germany
Taiwan	515	Germany: −13	Above Germany
Germany	**502**	—	Above international and EU averages
EU comparison group	493	Germany: +9	Germany moderately higher
International participant average	476	Germany: +26	Germany considerably higher

Although Germany remained above the international and EU averages, its long-term trend was negative. The average German result decreased from 523 points in 2013 to 518 points in 2018 and 502 points in 2023. This represents a decline of 16 points over five years and 21 points over ten years. The country has therefore maintained an above-average international position mainly because the general ICILS participant field includes several low-performing systems, rather than because Germany has demonstrated continuous improvement.

Table 4 Ten-year trend in German students' digital competence

Indicator	2013	2018	2023	Change, 2013–2023
Mean digital competence score	523	518	502	−21 points
Students at the two lowest competence levels	29.2%	33.2%	40.8%	+11.6 percentage points
Students at the highest competence level	1.5%	1.9%	1.1%	−0.4 percentage points

The distribution of competence levels reveals a significant structural concern. In 2023, 40.8% of German eighth-grade students reached only the two lowest competence levels. The corresponding international participant average was 50.2%, while the EU comparison-group average was 44.0%. Germany therefore performed better than both comparison groups, but the domestic trend was clearly unfavourable: the proportion of low-performing students increased from 29.2% in 2013 to 40.8% in 2023 (Eickelmann et al., 2024).

Only 1.1% of students in Germany reached the highest competence level. This figure was close to the international average of 1.0% and slightly above the EU comparison-group average of 0.8%. Germany's main challenge is therefore not simply its average score, but the simultaneous expansion of the low-competence group and the very small proportion of students demonstrating advanced digital problem-solving abilities.

These findings indicate that access to technologies has not automatically resulted in higher levels of digital literacy. Digital competence requires systematic instruction in information evaluation, digital content production, problem-solving, data literacy and critical use. AI integration without these foundations may increase students' dependence on automated outputs rather than strengthen their independent reasoning.

In 2023, 25.1% of German eighth-grade students reported using digital media at school for educational tasks at least once per day. In 2018, the corresponding proportion was only 4.4%; however, the wording of the survey question changed, and the two values should therefore be interpreted as an indicative rather than strictly equivalent trend. Furthermore, 12.9% of German students reported never using digital media at school for educational tasks during school days (Eickelmann et al., 2024). The results for teachers were more positive. In 2023, 69.9% of German teachers used digital media in school teaching at least once per day. The international average was 61.2%, while the EU comparison-group average was 68.9%. Teacher use in Germany increased substantially from 9.1% in 2013 and 23.2% in 2018 (Eickelmann et al., 2024).

Table 5 Use of digital media in German secondary education

Indicator	Germany	International average	EU average	Comparative assessment
Teachers using digital media daily, 2023	69.9%	61.2%	68.9%	Germany above international average and close to EU average
Teachers using digital media daily, 2018	23.2%	—	—	Major increase by 2023
Teachers using digital media daily, 2013	9.1%	—	—	Strong ten-year expansion

Students using digital media daily for school tasks, 2023	25.1%	Not directly reported here	Not directly reported here	Use remains limited for many students
Students never using digital media for school tasks, 2023	12.9%	—	—	Indicates unequal or inconsistent classroom integration

The difference between high teacher-reported use and more limited student-reported use is analytically important. It may indicate that technology is frequently used by teachers for presentation, planning or classroom management without always being employed by students for active investigation, collaboration, creation and problem-solving.

Digital transformation should therefore be evaluated not only through frequency of use but through the pedagogical quality of use**.** Teacher-centred presentation technologies may digitise conventional instruction without transforming learning. By contrast, student-centred use involves data analysis, multimedia production, inquiry, peer collaboration, simulation, feedback and critical evaluation of digital and AI-generated content.

Germany has made substantial progress in expanding school technology infrastructure. In 2023, learning management systems were available to both teachers and students in schools attended by 78.3% of German eighth-grade students. Videoconferencing systems were available to both groups in 89.3% of cases, while joint access to school Wi-Fi was reported for 64.9% of students.However, 30.9% of German eighth-grade students attended schools where Wi-Fi was accessible to teachers but not to students. In 4.3% of cases, Wi-Fi was available to neither group. Although joint teacher–student access increased from 26.2% in 2018 to 64.9% in 2023, Germany remained behind several systems in the provision of learning management platforms. LMS availability reached 98.6% in Austria, 97.8% in the United States and 97.5% in the Flemish Community of Belgium (Eickelmann et al., 2024).

Table 6 Availability of selected digital infrastructure in German schools, 2023

Digital infrastructure	**Available to teachers and students**	**Available only to teachers**	**Not available**	**Assessment**
Videoconferencing system	89.3%	8.7%	Small residual share	Comparatively widespread
Learning management system	78.3%	8.8%	17.9%	Considerable availability, but below leading systems
School instant-messaging service	65.9%	8.8%	25.3%	Uneven provision
Wi-Fi access	64.9%	30.9%	4.3%	Student access remains restricted in many schools

School-related email accounts	63.5%	34.5%	Small residual share	Often teacher-oriented
Online collaborative applications	60.0%	9.9%	30.1%	Significant gap in collaborative infrastructure

Teacher evaluations of infrastructure show further weaknesses. While 66.0% of German teachers considered their school's IT equipment sufficient, only 47.5% stated that the equipment was consistently functional when needed. Moreover, 56.2% believed that the equipment was up to date, and 51.2% were satisfied with the speed and stability of the school internet connection. Each of these figures, except perceived equipment sufficiency, was substantially below the international average (Eickelmann et al., 2024).

Table 7 Teachers' assessment of school infrastructure

Statement	**Germany**	**International average**	**Germany's difference**
The school has sufficient IT equipment	66.0%	70.6%	−4.6 percentage points
The IT equipment is up to date	56.2%	67.9%	−11.7 percentage points
The school has a good internet connection	51.2%	66.1%	−14.9 percentage points
IT equipment is functional whenever needed	47.5%	66.0%	−18.5 percentage points

The infrastructure results demonstrate that Germany has moved from a stage of severe equipment shortage toward wider technological availability. Nevertheless, the next phase of digital transformation requires attention to reliability, maintenance, student access, interoperability and technical support. AI applications generally require stable connectivity, secure identity management, access to suitable devices and effective data-governance procedures. Schools cannot implement AI consistently when equipment is available in principle but is outdated, unstable or restricted to teachers.

Germany's approach can be characterised as constructively critical rather than prohibition-oriented**.** The German Länder have sought to permit age-appropriate and responsible experimentation with AI while retaining teacher authority, legal compliance and attention to educational equity. The 2024 KMK recommendations identify AI literacy, teacher professionalisation, new assessment formats, human oversight and equitable access as central priorities. At the international level, OECD evidence indicates that generative AI can support learning when it is guided by clear pedagogical principles. However, when students merely outsource tasks to AI, performance may improve without corresponding learning gains. OECD data for 2024 indicate that 37% of lower-secondary teachers across participating systems had used AI for their work; 57% believed AI could assist with lesson planning, while 72% expressed concern that it could undermine academic integrity (OECD, 2026). These

figures provide an international context rather than a directly comparable estimate for Germany.

Table 8 Germany and international approaches to AI in secondary education

Dimension	**Germany**	**International tendency**	**Comparative interpretation**
Policy orientation	Constructively critical and regulated use	Movement from prohibition toward guided use	Germany follows an increasingly common international direction
Teacher role	Final pedagogical and assessment authority remains with teachers	Human oversight widely recommended	Strong alignment with OECD and UNESCO principles
Curriculum	AI competence to be integrated across subjects and school levels	Increasing emphasis on AI literacy	Germany has a policy basis, but implementation varies
Assessment	Development of process-oriented and AI-aware assessment formats	Global concern about authorship and integrity	Germany recognises the need for assessment redesign
Data protection	Strong GDPR and national regulatory emphasis	Uneven globally	Germany has a stronger legal framework but may face slower implementation
Equity	Attention to first-, second- and third-level digital divides	Access inequality is a global issue	Germany explicitly recognises multiple dimensions of inequality
Educational AI development	Co-creation among schools, researchers and providers	Growing international focus on trustworthy educational tools	Germany's planned approach is systematic but still developing
Generative AI evidence	Research base considered insufficient	International evidence remains emerging	Cautious piloting and evaluation remain necessary

UNESCO's global guidance similarly argues for a human-centred approach that protects human agency, builds institutional capacity and ensures that AI adoption is ethically and pedagogically justified. Germany's policy direction is broadly consistent with this position, particularly regarding teacher responsibility, age appropriateness, data protection and equitable participation (Miao & Holmes, 2023).

5. Discussion

The findings reveal a central paradox in Germany's secondary education system. Technological access and teacher use have increased significantly, but students' measured digital competence has declined. Teacher daily use increased from 9.1% in 2013 to 69.9% in 2023, while school access to Wi-Fi and learning management systems also expanded. Nevertheless, the mean digital competence score declined by 21 points over the same decade, and the proportion of students at the lowest competence levels increased by 11.6 percentage points.This contradiction suggests that the quantity of technology use does not determine educational quality. Digital media may be used for

administrative communication, digital worksheets, slide presentations or the distribution of conventional tasks without requiring students to develop advanced digital competencies. Digital transformation becomes educationally meaningful only when students actively investigate information, evaluate sources, create content, solve problems and reflect critically on technology.The same principle applies to artificial intelligence. Merely allowing students to use generative AI is unlikely to improve learning. Effective integration requires structured tasks in which students compare AI-generated and scholarly information, identify errors, explain revisions, document prompts and sources, and reflect on the limits of automated systems.

One of the most significant opportunities is AI-supported differentiation. Adaptive platforms can provide tasks at varying levels, immediate formative feedback, text simplification, translation, speech-to-text conversion and alternative representations of learning materials. These functions may be particularly valuable in heterogeneous German classrooms, including those with multilingual students and learners requiring additional educational support.The KMK recognises that AI can function as a personal learning tutor, an intelligent tutoring system or an adaptive learning environment. It also emphasises that AI should not weaken social and collaborative learning and that teachers must retain the central role in designing learning environments (KMK, 2024). Personalisation should therefore not become automated separation. An AI system that repeatedly assigns easier tasks to particular students may reinforce low expectations. Personalised recommendations must remain transparent, revisable and subject to teacher judgement.

The high frequency of digital media use among German teachers provides a foundation for AI integration, but frequency does not necessarily indicate advanced pedagogical competence. Teachers require knowledge of how AI systems generate outputs, how bias and hallucination may emerge, how student data are processed, and how AI-supported activities can be aligned with subject-specific objectives.Germany’s 2024 policy recommends integrating AI competencies into all three phases of teacher education: university preparation, preparatory professional training and continuing professional development. The framework includes technical foundations, media education, pedagogical scenarios, ethical awareness and legal requirements. Professional development should move beyond short introductory seminars. Sustainable models may include school-based coaching, professional learning communities, subject-specific AI laboratories, shared task banks and partnerships between schools and universities.

Generative AI challenges conventional homework and essay-based assessment because it can generate complete texts and solutions. Germany’s policy response appropriately focuses on changing assessment culture rather than relying exclusively on general bans.

Future assessment should place greater emphasis on:

- classroom-based production;
- oral defence and explanation;
- documented drafting and revision;

- source verification;
- reflection on AI use;
- project-based problem-solving;
- comparison of human and AI-generated solutions.

German policy maintains that final evaluation is a pedagogical and public-authority function that must remain under human responsibility. AI may support preliminary correction, formative diagnosis and personalised feedback, but it must not make autonomous high-stakes decisions about students (KMK, 2024).

Germany's strong data-protection environment is both an advantage and an implementation challenge. It can increase public trust and protect students from inappropriate profiling, but complex approval and procurement procedures may slow the adoption of beneficial educational tools.

The KMK identifies three dimensions of the digital divide:

1. unequal material access to devices and applications;
2. unequal patterns and quality of technology use;
3. unequal competence in using digital and AI tools effectively.

This multidimensional understanding is particularly important because simply providing access to a generative AI platform does not ensure equitable outcomes. Students with stronger language, subject and digital competencies are often better able to formulate effective prompts, verify outputs and identify misinformation. Without targeted support, AI may therefore widen existing inequalities.

Table 9 SWOT analysis of AI integration into Germany's secondary education system

Strengths	**Weaknesses**
Established national and interstate digital education strategies	Decline in average student digital competence between 2013 and 2023
Germany remains above ICILS international and EU competence averages	40.8% of students remain at the two lowest competence levels
69.9% of teachers use digital media in teaching daily	Digital use may remain teacher-centred rather than student-centred
Strong legal protection under GDPR and related regulations	Federal fragmentation may result in uneven implementation among Länder
Explicit policy commitment to human oversight and teacher authority	Only 47.5% of teachers report consistently functional IT equipment
Growing availability of LMS, Wi-Fi and videoconferencing systems	School internet quality and equipment modernity remain below international averages
Recognition of AI literacy, inclusion and assessment reform	Limited comparable national evidence on actual classroom use of generative AI

Opportunities	**Threats**
Personalised learning and adaptive feedback	Algorithmic bias and discriminatory recommendations
Improved support for multilingual students and learners with disabilities	Misuse of personal and performance data
Reduction of routine teacher workload	Dependence on commercial technology providers
Development of AI literacy across subjects	Academic dishonesty and uncertainty about authorship
New forms of formative assessment and learning analytics	Overreliance on AI and weakening of independent thinking
Cooperation among schools, universities and technology developers	Expansion of first-, second- and third-level digital divides
Development of secure, education-specific AI platforms	Rapid technological obsolescence and increasing maintenance costs
Transition from content reproduction to critical and creative learning	Misinformation, hallucinated outputs and deepfake content

The SWOT analysis indicates that Germany has strong institutional and regulatory foundations but faces a gap between policy ambitions and classroom-level capacity. Its principal strategic strength lies in combining innovation with human oversight. Its main internal weakness is that infrastructure expansion has not yet produced sufficiently strong or equitable student competence.

Table 10PEST analysis of AI integration in German secondary education

Factor	**Main conditions**	**Potential positive influence**	**Main risks**
Political	Federal responsibility of the Länder; KMK coordination; EU and national AI regulation	Policies can be adapted to regional educational needs; strong legal legitimacy	Fragmentation, inconsistent implementation and slow joint decision-making
Economic	Need for devices, connectivity, licences, maintenance, technical support and training	Investment may increase educational innovation and technology-sector cooperation	High recurrent costs, unequal municipal resources and vendor dependence
Social	Diverse student population; varying digital skills; concerns about academic integrity and screen use	AI can support inclusion, translation and differentiated learning	Social inequality, unequal home support, mistrust and reduced human interaction
Technological	Expanding LMS and Wi-Fi infrastructure; rapid development of generative AI	Adaptive learning, automated feedback, accessibility and data-informed instruction	Cybersecurity risks, unreliable outputs, weak interoperability and rapid obsolescence

Germany’s federal education structure allows the Länder to adapt curricula and implementation models to regional contexts. However, it also creates coordination

challenges, especially in procurement, data protection, teacher education and platform interoperability. The KMK's 2024 recommendation represents an effort to develop a shared national position while preserving Länder-level responsibility. The EU AI regulatory environment and GDPR create strong safeguards concerning transparency, automated decision-making and personal data. For schools, this means that innovation must be accompanied by clear accountability and human final decision-making.

AI integration requires expenditure beyond initial hardware procurement. Sustainable implementation includes software licences, technical support, cybersecurity, teacher release time, professional development, equipment renewal and evaluation. The uneven financial capacity of municipalities and school authorities may produce differences in access and implementation quality.Open, interoperable and publicly supported educational systems may reduce excessive dependence on individual vendors. Procurement criteria should include pedagogical quality, accessibility, privacy, interoperability and long-term maintenance rather than focusing only on price or technical novelty.

AI may support multilingualism, inclusion and personalised learning, but students' ability to benefit from it depends on prior subject knowledge, digital literacy and family support. A student who cannot critically evaluate information may accept plausible but inaccurate AI-generated content.Public acceptance will also depend on transparency. Students and parents should know when AI is used, what data are processed, how recommendations are generated and who remains responsible for decisions.

Germany's increasing availability of LMS platforms and digital infrastructure provides a foundation for AI integration. Nevertheless, equipment reliability and internet quality remain important barriers. AI systems also create new requirements concerning secure authentication, data storage, interoperability and continuous software evaluation.OECD findings indicate that the effectiveness of generative AI depends on pedagogical design. Using AI merely to complete tasks may raise immediate performance without producing genuine learning. AI systems should therefore be designed and selected according to educational objectives rather than technological novelty (OECD, 2026).

The combined comparative, SWOT and PEST analyses show that Germany is positioned between infrastructural expansion and pedagogical transformation. The country has made clear progress in teacher technology use, learning management systems and access to digital services. However, the decline in students' digital competence indicates that the system has not yet converted technological investment into uniformly strong learning outcomes.

Five strategic priorities emerge from the analysis.

First, AI literacy should be integrated systematically into all secondary-school subjects. Students should learn how AI operates, why outputs may be inaccurate, how training data may contain bias and how generated information should be verified.

Second, teacher education should become subject-specific. General instruction on prompting is insufficient. History teachers, mathematics teachers, language teachers and science teachers require different models for pedagogically justified AI use.

Third, assessment formats should be redesigned around reasoning, process documentation, oral explanation, source evaluation and reflective disclosure of AI assistance.

Fourth, Germany should continue developing secure and interoperable educational AI environments that comply with data-protection requirements and provide equitable access.

Fifth, implementation should be monitored through measurable indicators, including student AI literacy, teacher competence, infrastructure reliability, access differences, learning outcomes and the quality of classroom activities.

Overall, Germany possesses a comparatively strong policy and regulatory basis for responsible AI integration. However, the future success of the transformation will depend less on the number of AI applications available and more on whether schools use them to strengthen independent thinking, inclusion, human interaction and meaningful learning.

Conclusion

The results of the study demonstrate that digital transformation in Germany's secondary education system is a multidimensional process involving technological infrastructure, curriculum development, teacher competencies, student participation, assessment practices, educational governance, and data protection. Germany has established a relatively strong strategic and legal foundation for the digitalisation of education. The strategies adopted by the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs, together with European digital education policies and data-protection requirements, have created an institutional framework for the responsible use of digital and artificial intelligence technologies in schools.

The comparative analysis showed that Germany performs above the international participant average and the European comparison-group average in students' computer and information literacy. Nevertheless, the long-term trend presents a significant concern. The average level of German students' digital competence has declined, while the proportion of students placed at the lowest competence levels has increased. This finding demonstrates that the expansion of technological infrastructure and the more frequent use of digital media do not automatically lead to improved learning outcomes.

Germany has achieved visible progress in teachers' use of digital technologies. A considerable majority of teachers now use digital media regularly in their instructional activities. Learning management systems, videoconferencing applications, wireless internet access, and online communication platforms have also become more widely available. However, the findings reveal differences among schools in terms of equipment quality, internet stability, technical functionality, and student access. In a significant number of schools, digital resources remain more accessible to teachers than to students. This limits opportunities for active, collaborative, creative, and student-centred digital learning.

Artificial intelligence can contribute to the improvement of Germany's secondary education system by supporting personalised learning, differentiated instruction, automated formative feedback, lesson planning, language assistance, accessibility, and early identification of learning difficulties. AI applications may help teachers prepare materials for students with different levels of prior knowledge and provide additional support to multilingual learners and students with special educational needs.However, the educational value of AI depends on the way it is incorporated into teaching and learning. AI systems should not be used merely to produce ready-made answers or replace students' intellectual effort. Such use may weaken independent reasoning, creativity, problem-solving ability, and academic responsibility. Instead, students should be encouraged to analyse AI-generated information, identify inaccuracies, compare different sources, explain their decisions, and reflect on the limitations of algorithmic systems.

The integration of generative AI also requires a fundamental reconsideration of assessment practices. Traditional homework, essays, and written assignments can no longer provide sufficient evidence of independent student achievement when generative AI tools are widely accessible. German schools should therefore adopt process-oriented assessment models that include classroom observation, oral presentation, project work, source verification, documented revision, practical application, and reflection on AI use. Students should be required to disclose how AI has been used and distinguish between legitimate assistance and the misrepresentation of authorship.Teacher professionalisation represents one of the most important conditions for successful implementation. Teachers need more than basic technical knowledge. They must understand the pedagogical, ethical, legal, and subject-specific dimensions of AI use. Professional-development programmes should include the evaluation of AI-generated content, protection of student data, detection of algorithmic bias, design of AI-supported learning activities, and development of appropriate assessment criteria. AI competence should be integrated into university-based teacher education, preparatory training, and continuing professional development.

The SWOT analysis demonstrated that Germany's principal strengths include its established policy framework, strong data-protection standards, increasing teacher engagement, developing infrastructure, and commitment to preserving human responsibility in educational decision-making. Its main weaknesses include declining student competence, unequal technological conditions, fragmented implementation among the federal states, and insufficient evidence regarding the educational effectiveness of generative AI.

The PEST analysis revealed that future development will depend on effective political coordination, sustainable financing, social trust, and technological reliability. Germany's federal education structure provides opportunities for regional innovation but may also produce differences in implementation. Moreover, dependence on commercial AI providers may create financial, ethical, and data-security risks. Publicly supported, secure, transparent, and interoperable educational platforms should therefore become a strategic priority.

Overall, Germany has the institutional capacity to become a leading example of responsible AI integration in secondary education. Nevertheless, the success of this transformation should not be evaluated according to the number of devices, platforms, or AI applications introduced into schools. The essential criterion should be whether these technologies improve educational quality, strengthen critical thinking, support inclusion, protect students' rights, and increase learner autonomy.Consequently, Germany should adopt a human-centred and evidence-based model in which artificial intelligence supplements rather than replaces teachers. Systematic AI literacy, equitable access, subject-specific teacher training, reliable infrastructure, ethical governance, and continuous evaluation should constitute the main pillars of future policy. Through such an approach, artificial intelligence can become not merely a technological innovation but a meaningful pedagogical resource that contributes to an inclusive, adaptive, and future-oriented secondary education system.

References

1. Eickelmann, B., Casamassima, G., Drossel, K., & Fröhlich, N. (2024). ICILS 2023 im Überblick: Zentrale Ergebnisse, Entwicklungen über ein Jahrzehnt und mögliche Entwicklungsperspektiven. Waxmann.
2. Eickelmann, B., Fröhlich, N., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (Eds.). (2024). ICILS 2023 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking von Schülerinnen im internationalen Vergleich*. Waxmann.
3. European Commission. (2022). Ethical guidelines on the use of artificial intelligence and data in teaching and learning for educators. Publications Office of the European Union.
4. Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T., & Duckworth, D. (2020). Preparing for life in a digital world: IEA International Computer and Information Literacy Study 2018 international report. Springer.
5. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign.
6. Hwang, G.-J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). Vision, challenges, roles and research issues of artificial intelligence in education. Computers and Education: Artificial Intelligence, 1, Article 100001.
7. Miao, F., & Cukurova, M. (2024). AI competency framework for teachers. UNESCO.
8. Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.
9. Miao, F., Shiohira, K., & Lao, N. (2024). AI competency framework for students. UNESCO.
10. Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054.

11. OECD. (2023). OECD digital education outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem. OECD Publishing.
12. OECD. (2026). OECD digital education outlook 2026: Exploring effective uses of generative AI in education. OECD Publishing.
13. Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu (Y. Punie, Ed.). Publications Office of the European Union.
14. Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2016). Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz [Education in the digital world: Strategy of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs].
15. Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2021). Lehren und Lernen in der digitalen Welt: Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ [Teaching and learning in the digital world: Supplement to the strategy “Education in the digital world”].
16. Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2024). Handlungsempfehlung für die Bildungsverwaltung zum Umgang mit künstlicher Intelligenz in schulischen Bildungsprozessen [Recommendations for education authorities on the use of artificial intelligence in school education processes].

Section: Philosophy

CARDBOARD UTOPIAS: ON THE AESTHETICS, FUNDING, AND PSYCHIC LIFE OF CURATED DISSENT

Panasiuk Mariia
PhD Candidate in Political Sciences and Philosophy,
MA in Cultural Studies,
Independent Researcher, Ukraine

1. Introduction: The Grammar of the Beautiful Crowd. Every wave of contemporary street politics produces its own casting call. The bodies that appear on the front pages are rarely arbitrary: young, telegenic, dressed in a recognizable uniform of raw denim, canvas sneakers, and thrifted outerwear, holding cardboard signs lettered in a hand that looks spontaneous but reads as art-directed. Lavender light, curls, a smartphone raised to document the self documenting the event — the composition recurs across continents and decades with uncanny consistency. This essay treats that recurrence as a legitimate object of cultural-studies inquiry rather than as either propaganda or proof of authenticity. Its aim is not to adjudicate whether any particular demonstration was "real" or "staged," a binary that dissolves under scrutiny, but to ask what cultural, economic, and psychoanalytic machinery produces the specific look and feel of what might be called mediatized dissent: protest optimized, consciously or not, for circulation. The look has a history. Pierre Bourdieu's account of taste as a marker of class position is a useful starting point: the aesthetic of "effortless" undress, of studied casualness, is itself a form of cultural capital, legible primarily to those already fluent in its code (Bourdieu, 1984). The demonstrators who read as unthreatening — students, mothers with children, women in soft colors, a studied absence of masks or black bloc gear — are not a random sample of the discontented; they are, whether by organizers' design or by the sorting logic of who has the leisure and safety to attend a daytime rally, a curated demographic. Angela McRobbie's work on the "creative" precariat is instructive here: a class that trades in self-presentation, portfolio careers, and networked sociality, for whom protest can become one more genre of cultural production, continuous with a résumé rather than a rupture from it (McRobbie, 2016). None of this settles the question of sincerity. It does, however, suggest that the visual economy of the "beautiful protester" deserves the same interpretive attention we give to advertising, reality television, or influencer culture — genres in which affect is manufactured without ceasing to be felt.

Aim. The aim of this essay is not to adjudicate whether any particular demonstration was “real” or “staged,” a binary that dissolves under scrutiny, but to ask what cultural, economic, and psychoanalytic machinery produces the specific look and feel of what might be called mediatized dissent — protest optimized, consciously or not, for circulation. **Materials and methods.** What follows moves through several

registers of critique that have accumulated around this phenomenon over the past half-century: the theory of spectacle and simulation that treats the demonstration as image before it is action; the political-economic literature on the funding and professionalization of civil society, which asks who pays for the flowers and the sound system; the psychoanalytic tradition, which asks what unconscious wish is satisfied by playing the beautiful rebel; and the newer literature on networked and platform-mediated activism, which describes protest increasingly authored for the feed. A final section turns the lens around, examining the equally well-documented use of "paid protester" and "foreign agent" rhetoric as an instrument of state power against genuine civic mobilization — because a serious cultural analysis of curated dissent cannot ignore that the accusation of curation is itself one of the most curated political weapons of the last century.

2. Spectacle and Simulation: When the Image Precedes the Politics. Results and discussion. Guy Debord's La société du spectacle remains the indispensable starting point for any account of image-saturated politics. Debord's central claim — that in advanced capitalist society "all that once was directly lived has become mere representation" — describes a world in which social relationships between people are increasingly mediated by images (Debord, 1994). Applied to protest, the Debordian lens suggests that the demonstration's primary audience is no longer the state or the passerby but the camera; the event is designed, at some level of intentionality that varies by organizer and occasion, to generate a shareable artifact. The cardboard sign, in this reading, is not simply a vehicle for a slogan but a compositional element, sized and worded for a screen rather than for the person standing three feet away. This does not make the underlying grievance false. It does mean that the phenomenology of the protest — its pacing, its palette, its choreography of raised hands and linked arms — is inseparable from the logic of the image economy that will circulate it.

Jean Baudrillard pushed this line further, arguing that in a media-saturated order the distinction between the real event and its simulation becomes unstable, producing what he called the hyperreal: a copy for which no original exists, or for which the question of an original has become irrelevant to the copy's social effect (Baudrillard, 1994). A protest restaged nightly with near-identical visual grammar — the same flowers, the same soft masculinity, the same children on shoulders — risks becoming, in Baudrillard's sense, a simulacrum of dissent: a sign system that performs opposition so fluently that the performance and the opposition become indistinguishable even to the participants. Slavoj Žižek, working in a related but psychoanalytically inflected vein, has repeatedly warned against what he calls "interpassivity" — a mode of political participation in which the very act of protesting discharges the obligation to do anything further, leaving the underlying power structure untouched (Žižek, 1989). The beautifully composed rally can, on this account, function less as a threat to power than as a release valve, a controlled emission of discontent that confirms, through its own visibility, the openness of the system that tolerates it.

It is worth being precise about what this critique does and does not claim. Debord and Baudrillard are not arguing that spectacular protest is insincere; they are arguing

that sincerity and spectacle are not opposites in a media-saturated society — that the two are produced together, by the same apparatus, and cannot be pulled apart by asking participants whether they "really" believe. Jacques Rancière's aesthetics of politics offers a partial corrective, insisting that the distribution of the visible and the sayable — who gets to appear, and in what form — is itself the terrain of politics, not a distraction from it (Rancière, 2010). A movement's aesthetic choices, in this reading, are not evidence of manufacture but a genuine political claim about who counts as a legitimate speaking subject. The tension between these positions — spectacle as anesthetic versus aesthetics as politics — runs through the rest of this essay and is, this author would argue, irreducible rather than resolvable.

3. The Political Economy of Dissent: Grants, NGOs, and the Professional-Managerial Activist. Behind the aesthetic question sits a material one: who funds the flowers, the printed placards, the legal support, the media training? Luc Boltanski and Ève Chiapello's The New Spirit of Capitalism describes how the "artistic critique" of the 1960s — its demand for authenticity, creativity, and liberation from bureaucratic constraint — was progressively absorbed into managerial capitalism itself, supplying the vocabulary (flexibility, networks, projects, passion) of the post-Fordist workplace (Boltanski & Chiapello, 2005). Applied to civil society, the argument suggests an uncomfortable convergence: the same rhetoric of authenticity and self-expression that animates a grassroots demonstration is also the house style of the foundations, consultancies, and grant-making bodies that increasingly fund such demonstrations' logistics. This is not a conspiracy thesis so much as an institutional-isomorphism thesis: organizations that depend on the same funding streams tend to converge on the same communicative register, the same "brand voice," almost independent of the political content they carry.

A sharper version of this argument comes from the volume The Revolution Will Not Be Funded, produced by the INCITE! collective, which coined the phrase "non-profit industrial complex" to describe how grant dependency can domesticate radical movements, steering them toward measurable, fundable, non-threatening activities and away from confrontations that funders — however well-intentioned — are structurally reluctant to underwrite (INCITE! Women of Color Against Violence, 2007). Nancy Fraser's critique of the liberal public sphere adds a further layer: formally open deliberative spaces have historically privileged participants who already possess the cultural competence — dress, diction, comportment — coded as "reasonable," systematically disadvantaging more confrontational or class-marked modes of protest (Fraser, 1990). Read together, these arguments suggest that the "beautiful," non-masculine, family-friendly protester is not simply a public-relations choice by cynical handlers but the predictable output of a funding and legitimation ecology that rewards a particular presentation of self, whatever the sincerity of the individuals performing it.

This literature invites, but does not by itself license, a further and more polemical question the user's prompt raises explicitly: whether the "creative" or "cultural" output of this professionalized, grant-adjacent activist-precariat is, on inspection, genuinely

creative, or whether it recycles a narrow repertoire of borrowed gestures — the raised fist, the flower in the rifle barrel, the a cappella chant — assembled more through cultural literacy than through original invention. Angela McRobbie's account of the creative industries is again useful: she describes a class trained to present passion and originality as a condition of economic survival, for whom the performance of creativity can become detached from its output, since the labor market rewards the performance regardless of the work's substance (McRobbie, 2016). Whether this description applies to any specific movement is an empirical question this essay cannot settle in the abstract; what the literature supports is the more modest claim that funding structures shape aesthetic output, and that scholars are right to ask the question rather than treating the sincerity of a movement's self-presentation as self-evident.

4. The Psychic Life of the Beautiful Rebel. If political economy explains who pays, psychoanalysis offers a vocabulary for why the performance is desired in the first place, by organizers and participants alike. Jacques Lacan's account of desire as structured around a constitutive lack suggests that the appeal of the protest-as-identity lies not in achieving a concrete political goal but in the fantasy of wholeness the identity offers: to be a person who resists, who is on the right side, who is seen resisting (Lacan, 1977). Žižek's development of this idea in the political register argues that ideology functions best not when it hides itself but when it offers subjects a way to enjoy their own subjection or their own opposition, a structure he calls the "sublime object of ideology" — an empty signifier (freedom, the people, resistance) that organizes desire precisely because it can never be filled in with concrete content (Žižek, 1989). The cardboard sign that says little beyond a vague affect ("love trumps hate," "be kind," a heart, a peace sign) can be read, in this frame, less as an empty political statement than as a perfectly functioning one: it asks nothing specific, and therefore satisfies the desire to have taken a position without the risk of a position that could be refuted, negotiated, or lost.

This dynamic intersects with what Mark Fisher called "capitalist realism": the sense, pervasive among a generation raised after the end of the Cold War, that no alternative to the existing economic order is genuinely thinkable, only aesthetically gesturable toward (Fisher, 2009). Fisher's diagnosis helps explain why so much contemporary protest imagery borrows its visual vocabulary from consumer culture — the iPhone raised to film, the influencer-adjacent styling — without irony: if systemic alternatives feel foreclosed, the only remaining terrain of agency is the self, and the self's most available medium of political expression is consumption and its performance. Judith Butler's work on assembly offers a more sympathetic counterpoint, arguing that the plural, embodied act of appearing together in public is itself a form of political claim-making irreducible to its media representation — bodies in the street enact a form of interdependency and precarity that a Debordian reading of pure image risks flattening (Butler, 2015). The tension between Fisher's diagnosis of foreclosed alternatives and Butler's insistence on the political weight of embodied appearance cannot be resolved from the armchair; it can only be held, as this essay tries to hold it, as a live methodological disagreement.

A further psychoanalytic thread concerns gender and pacification. The deliberate foregrounding of women, children, and a demasculinized visual register — flowers rather than fists, softness rather than confrontation — recalls a lineage running through John Lennon and Yoko Ono's bed-ins and "War Is Over" campaigns of the late 1960s and early 1970s, works that Ono herself has described as deliberately theatrical interventions designed for mass media consumption rather than spontaneous outbursts. Cultural historians of the period have treated the Lennon–Ono campaigns not as failures of authenticity but as an early, self-conscious template for media-native pacifist spectacle — a template whose vocabulary (flowers, beds, slogans, celebrity bodies as billboards) has been recycled by movements across the political spectrum ever since, largely because it demonstrably works: it is unthreatening to broadcast media, sympathetic to a mainstream audience, and difficult for authorities to suppress without appearing disproportionate. Whatever one makes of the sincerity of any individual protester, the durability of this specific aesthetic package across half a century of otherwise unrelated movements suggests it functions as a stable cultural technology rather than as evidence, in any given instance, of manufacture.

5. Networked Spectacle and the Politician-Influencer. The internet did not invent mediatized protest, but it changed its unit of production from the event to the post. Malcolm Gladwell's contested but widely cited essay on "small change" argued that the loose, low-risk ties characteristic of social-media mobilization produce a different, weaker form of solidarity than the high-risk, tightly bonded networks of earlier movements, since clicking to share costs little and asks little in return (Gladwell, 2010). Manuel Castells offered a more optimistic account of the same shift, describing networked social movements as capable of generating genuine "spaces of autonomy" that blend the physical occupation of urban space with continuous online narration, each reinforcing the other's visibility (Castells, 2012). W. Lance Bennett and Alexandra Segerberg's concept of "connective action" tried to split the difference, arguing that contemporary movements increasingly organize not around a shared collective identity requiring formal membership but around personalized, easily forwarded action frames — hashtags, template graphics, personal testimony — that let individuals participate as recognizable selves rather than as anonymous members of an organization (Bennett & Segerberg, 2013).

Paolo Gerbaudo's ethnographic work on the Arab Spring, the Indignados, and Occupy describes a new figure this literature calls the "soft leader" or choreographer: an organizer who, rather than issuing top-down directives, curates the emotional and symbolic texture of a movement through social media — selecting images, framing hashtags, setting an affective tone — while formally disclaiming any hierarchical authority (Gerbaudo, 2012). This figure maps closely onto what the present essay's prompt calls the "technocrat in jeans" or politician-influencer: a public actor whose authority derives less from institutional position than from aesthetic and emotional fluency in the platform's native genres, indistinguishable in form from a lifestyle influencer's feed even when the content is nominally political. Zeynep Tufekci's Twitter and Tear Gas complicates any simple story of manufacture, however: her

fieldwork across Gezi Park, Tahrir Square, and Occupy shows movements that were simultaneously spontaneous in their initial eruption and highly organized, professionalized, and media-savvy in their sustained operation — the two are not sequential stages one can cleanly separate into an "authentic" origin followed by a "manufactured" continuation, but co-present features of any movement that survives its first week (Tufekci, 2017).

This literature also gives a name to the specific critique of low-commitment participation the user's prompt gestures toward: Henrik Serup Christensen's review of "slacktivism" scholarship finds that low-cost online actions (signing a petition, changing a profile picture, sharing a post) are neither straightforwardly meaningless nor straightforwardly effective — their political value depends heavily on whether they connect to offline networks and sustained organizing capacity, a connection that varies enormously by case and cannot be assumed from the online gesture alone (Christensen, 2011). The politician-influencer and the movement built primarily for the feed are real phenomena, well documented in this literature; what the literature resists is the inference, however tempting, that mediatization proves inauthenticity. A movement can be simultaneously stage-managed in its media strategy and rooted in genuine, material grievance — indeed, on the evidence Tufekci and Gerbaudo assemble, this combination is closer to the historical norm than the exception.

6. A Constellation of Cases. Occupy Wall Street remains the paradigmatic case in this literature precisely because it was subjected, almost from its first week in September 2011, to both of the critiques traced above: praised by sympathetic scholars for its horizontal "general assembly" structure and its innovation of the people's microphone, and dismissed by critics as a media event sustained more by its Tumblr aesthetic and celebrity endorsements than by coherent demands. David Graeber, one of the movement's participant-theorists, defended its refusal to issue a formal list of demands as a considered anarchist strategy rather than a failure of seriousness, arguing that the prefigurative practice of direct democracy in the encampment was itself the movement's central political content (Graeber, 2013). Critics on both the institutional left and right countered that this same refusal made the movement unusually easy to reduce to its images — the tents, the drum circles, the diversity of the crowd — since without articulated demands, the visual register became, by default, the primary available register of interpretation.

Occupy is far from unique in exhibiting this pattern. France's Nuit Debout movement of 2016 was likewise organized around open assemblies in symbolic public squares and generated a similarly aestheticized media presence, heavy on hand-lettered signage and participatory ritual, before dissolving without durable institutional change — a trajectory sociologists of social movements attribute in part to the same tension between prefigurative horizontalism and the demand-articulation that formal politics requires (della Porta & Diani, 2006). Hong Kong's 2014 Umbrella Movement developed its own recognizable visual grammar — the yellow umbrella itself, deployed originally for practical protection against pepper spray, rapidly became a branded symbol reproduced on posters, phone cases, and murals, illustrating how quickly a

movement's improvised material culture can be absorbed into a repeatable, marketable iconography regardless of any funding relationship. More recently, Extinction Rebellion's deliberately theatrical "die-ins," ritualized arrests, and carefully art-directed color palette (black funeral dress punctuated by a single hourglass symbol) represent perhaps the most self-consciously designed protest aesthetic yet, openly informed by advertising and behavioral-psychology consultants recruited to the movement's strategy team — a case in which the entanglement of activism and professional communications expertise is not a hidden funding scandal but a publicly stated organizational choice.

What this constellation of cases suggests, read against the theoretical literature above, is that mediatized, aesthetically curated, professionally supported protest is not a deviation from some purer historical norm of spontaneous uprising but has been the dominant mode of large-scale Western and global protest since at least the civil rights movement's disciplined nonviolent choreography of the 1950s and 1960s — itself extensively trained, media-briefed, and strategically staged by its organizers, without this training retroactively voiding the moral and political seriousness of its participants. The interesting scholarly question, this essay suggests, is not whether a given movement is curated — most durable ones are, to some degree — but what specific configuration of funding, aesthetic choice, and platform logic characterizes a given instance, and what that configuration reveals about the political economy of the moment that produced it.

7. The Mirror Turned: On the Politics of Calling Protest Fake. A rigorous cultural analysis of curated dissent cannot stop at the demonstrators; it must also examine the discourse that names them "paid," "cardboard," or the work of "foreign agents," because this discourse has its own well-documented history, institutional sponsors, and political function. Thomas Carothers, tracking a global wave of legal restrictions on nongovernmental organizations since the early 2000s, describes a recurring script used by governments seeking to shrink civic space: foreign-funding disclosure laws, "foreign agent" registration requirements modeled explicitly on the U.S. Foreign Agents Registration Act, and media campaigns portraying independent civil society as an instrument of external manipulation rather than as an expression of domestic grievance (Carothers, 2016). Janjira Sombatpoonsiri's comparative work on what analysts term "sharp power" documents how authoritarian and hybrid regimes have refined this rhetoric into a transferable toolkit, deployed with only minor local adaptation from one country's protest movement to the next, in which the specific content of a grievance matters less than the reliability of the accusation that its bearers are inauthentic (Sombatpoonsiri, 2020). Read against this literature, the vocabulary the present essay has been analyzing — "grants," "foreign agents," "cardboard" protest — is not solely an academic critical-theory vocabulary; it is also, in its harsher popular register, a proven instrument of state delegitimization, and any honest treatment of the topic has to hold both facts at once.

This does not collapse the distinction the essay has tried to draw throughout. It remains entirely possible, and well supported by the literature in Sections 3 and 5, that

funding shapes tactics, that professionalized NGOs domesticate radical energy, and that platform logics reward a specific telegenic aesthetic. It is equally well supported, by the literature in this section, that "you are only protesting because someone paid you" is one of the most reliable rhetorical moves available to power confronted with genuine, materially rooted discontent, precisely because it requires no engagement with the substance of the grievance and instead redirects scrutiny onto the identity and motives of the aggrieved. Michel Foucault's broader argument that discourse and power are mutually constitutive — that the categories through which we are permitted to describe a phenomenon are themselves an exercise of power rather than a neutral description of it — is directly relevant here (Foucault, 1978). The category "paid protester" does not merely describe a funding relationship; it performs the political work of converting a claim about justice into a claim about fraud, foreclosing the former question by substituting the latter.

Herman and Chomsky's propaganda model, developed originally to analyze mainstream commercial media, offers a further, complementary tool: their account of how ownership structures, advertiser dependence, and reliance on official sources filter which stories a media system amplifies applies with only modest adaptation to state and state-adjacent media systems that specialize in amplifying the "curated dissent" critique itself, often far more heavily funded, coordinated, and professionally produced than the demonstrations they denounce (Herman & Chomsky, 1988). The intellectually serious position, then, is neither naïve credulity toward every demonstration's self-presentation nor reflexive cynicism toward every demonstration a state chooses to call staged. It is the harder, dual task of interrogating the political economy and media aesthetics of protest movements while remaining equally alert to the political economy and media aesthetics of the accusation that they are fake — a symmetry too rarely observed in either activist or state-sponsored commentary.

Conclusions. The beautiful crowd — curled hair, borrowed flowers, an iPhone held aloft, a sign lettered for the camera rather than the street — is a real cultural object, produced by a real convergence of forces: the image-logic Debord and Baudrillard described decades before social media made it literal; the funding and professionalization dynamics Boltanski, Chiapello, and the INCITE! collective trace through the nonprofit sector; the psychic economy of desire and identity that Lacan and Žižek locate beneath any political performance; and the platform architectures Gerbaudo, Bennett, Segerberg, and Tufekci have mapped in granular empirical detail. None of these literatures, taken honestly, licenses the conclusion that a given movement's grievance is manufactured simply because its presentation is polished. What they license is a more patient, structurally minded curiosity: about who funds the microphone, which aesthetic gets rewarded with coverage, what unconscious wish is satisfied by appearing as a certain kind of protester, and — the question this essay has insisted on adding — who benefits from teaching an audience to dismiss the whole scene as cardboard.

Melucci's classic definition of social movements as arenas in which actors construct collective identity through ongoing, often contested negotiation over

meaning is a useful place to end (Melucci, 1996). On that definition, the aesthetic disputes traced in this essay — flowers versus fists, spontaneity versus choreography, authenticity versus funding — are not distractions from the "real" politics of a movement; they are among the primary sites where that politics is actually fought out, by participants, funders, media, and states alike, each with an interest in how the crowd will be seen. A cultural studies adequate to this object will resist the temptation, common to both starry-eyed activist hagiography and cynical state propaganda, to resolve that contest prematurely in either direction.

References

1. Baudrillard, J. (1994). Simulacra and simulation (S. F. Glaser, Trans.). University of Michigan Press.
2. Bennett, W. L., & Segerberg, A. (2013). The logic of connective action: Digital media and the personalization of contentious politics. Cambridge University Press.
3. Boltanski, L., & Chiapello, E. (2005). The new spirit of capitalism (G. Elliott, Trans.). Verso.
4. Bourdieu, P. (1984). Distinction: A social critique of the judgement of taste (R. Nice, Trans.). Harvard University Press.
5. Butler, J. (2015). Notes toward a performative theory of assembly. Harvard University Press.
6. Carothers, T. (2016). Closing space: Democracy and human rights support under fire. Carnegie Endowment for International Peace.
7. Castells, M. (2012). Networks of outrage and hope: Social movements in the Internet age. Polity Press.
8. Christensen, H. S. (2011). Political activities on the Internet: Slacktivism or political participation by other means? First Monday, 16(2). https://doi.org/10.5210/fm.v16i2.3336
9. Debord, G. (1994). The society of the spectacle (D. Nicholson-Smith, Trans.). Zone Books. (Original work published 1967)
10. della Porta, D., & Diani, M. (2006). Social movements: An introduction (2nd ed.). Blackwell.
11. Fisher, M. (2009). Capitalist realism: Is there no alternative? Zero Books.
12. Foucault, M. (1978). The history of sexuality, Vol. 1: An introduction (R. Hurley, Trans.). Pantheon Books.
13. Fraser, N. (1990). Rethinking the public sphere: A contribution to the critique of actually existing democracy. Social Text, 25/26, 56–80. https://doi.org/10.2307/466240
14. Gerbaudo, P. (2012). Tweets and the streets: Social media and contemporary activism. Pluto Press.
15. Gladwell, M. (2010, October 4). Small change: Why the revolution will not be tweeted. The New Yorker.
16. Graeber, D. (2013). The democracy project: A history, a crisis, a movement. Spiegel & Grau.

17. Habermas, J. (1991). The structural transformation of the public sphere: An inquiry into a category of bourgeois society (T. Burger, Trans.). MIT Press.
18. Herman, E. S., & Chomsky, N. (1988). Manufacturing consent: The political economy of the mass media. Pantheon Books.
19. INCITE! Women of Color Against Violence (Ed.). (2007). The revolution will not be funded: Beyond the non-profit industrial complex. South End Press.
20. Lacan, J. (1977). Écrits: A selection (A. Sheridan, Trans.). W. W. Norton.
21. McRobbie, A. (2016). Be creative: Making a living in the new culture industries. Polity Press.
22. Melucci, A. (1996). Challenging codes: Collective action in the information age. Cambridge University Press.
23. Rancière, J. (2010). Dissensus: On politics and aesthetics (S. Corcoran, Trans.). Continuum.
24. Sombatpoonsiri, J. (2020). Authoritarian diffusion? How Cambodia's and Thailand's autocrats learn from China. Journal of Contemporary Asia, 50(3), 393–414. https://doi.org/10.1080/00472336.2019.1642385
25. Tufekci, Z. (2017). Twitter and tear gas: The power and fragility of networked protest. Yale University Press.
26. Žižek, S. (1989). The sublime object of ideology. Verso.

OPPORTUNITIES AND PHILOSOPHICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF AGRARIAN CULTURE IN UZBEKISTAN

To‘xtayev Husen Mirzayevich
Researcher, Samarkand State Pedagogical Institute,
Doctor of Philosophy (PhD) in Philosophical Sciences

Abstract. This article examines the opportunities for developing agrarian culture in Uzbekistan and analyses its philosophical, social and ethical foundations. Agrarian culture is interpreted not only as a system of agricultural knowledge and production skills but also as a complex phenomenon reflecting people’s attitudes towards land, water, labour, nature and rural community life. The study identifies the historical roots of Uzbek agrarian culture, its role in ensuring social stability and its transformation under the influence of market reforms, digital technologies and environmental challenges. Particular attention is paid to the principles of ecological responsibility, intergenerational continuity, rational use of natural resources and respect for agricultural labour. The article argues that the development of agrarian culture requires the integration of traditional farming experience with modern scientific achievements, environmental education and innovative technologies. It concludes that a philosophically grounded agrarian culture can become an important factor in

sustainable rural development, food security and the formation of responsible attitudes towards nature in Uzbekistan.

Keywords: agrarian culture, rural development, agricultural labour, ecological responsibility, land, water resources, national values, sustainable development, innovation, Uzbekistan.

Agriculture has historically played an important role in the economic, social and cultural life of Uzbekistan. The development of ancient settlements, traditions of irrigated agriculture, handicrafts and local forms of community life was closely connected with people's ability to use land and water resources effectively. Consequently, agriculture should not be understood only as an economic activity. It is also a cultural practice through which social relations, ethical norms, collective experience and attitudes towards nature are formed.

Agrarian culture represents a system of knowledge, values, behavioural standards and practical skills associated with agricultural production and rural life. It includes a farmer's attitude towards land, water, plants, animals, labour, property and the interests of future generations. In this sense, the level of agrarian culture determines not only agricultural productivity but also the ecological and social sustainability of rural areas.

Uzbekistan's Agriculture Development Strategy for 2020–2030 prioritises food security, the creation of a favourable agribusiness environment, the rational use of natural resources, public administration reform, scientific research and the development of rural territories [1, 3]. These priorities demonstrate that agricultural modernisation cannot be limited to the introduction of machinery or new production methods. It must also transform human consciousness, professional responsibility and attitudes towards natural resources.

The purpose of this article is to examine the major opportunities for developing agrarian culture in Uzbekistan and to reveal the philosophical principles underlying this process.

The Concept and Philosophical Foundations of Agrarian Culture

From a philosophical perspective, culture is a historically developed system of material and spiritual values created through human activity. Agrarian culture is one of its earliest forms because agricultural activity radically changed the relationship between humanity and nature. Instead of merely consuming natural products, people began to cultivate land, manage water, domesticate animals and plan future production.

Agricultural labour teaches people to understand natural cycles, seasonal changes and the connection between effort and results. A farmer cannot obtain an immediate outcome from every action. Planting, irrigation, care and harvesting require patience, foresight and responsibility. Therefore, agrarian culture develops such moral qualities as diligence, endurance, discipline, prudence and respect for the results of labour.

The philosophical essence of agrarian culture is revealed in the relationship between the concepts of "human being," "nature" and "labour." Human beings are part of nature, but through labour they consciously transform it. This transformation, however, should not become unlimited exploitation. When economic interests are separated from ecological responsibility, soil degradation, water scarcity and loss of

biodiversity may occur. For this reason, the development of agrarian culture requires a transition from an anthropocentric worldview, in which nature is viewed only as a resource, to an environmentally responsible worldview based on cooperation between society and nature [2, 22].

Agrarian culture also has an axiological dimension. Land possesses not only economic value but also social, historical and moral significance. In Uzbek culture, land has traditionally been regarded as a source of livelihood, family prosperity and continuity between generations. Careful treatment of land was considered a duty to both ancestors and descendants. This understanding can serve as a moral foundation for contemporary environmental policies.

At the same time, agrarian culture should not be idealised as an unchanging set of traditions. Culture develops when inherited experience is critically reconsidered in accordance with new social conditions. Some traditional methods may remain environmentally useful, while others need to be improved through scientific research and technological innovation. Thus, the philosophical principle of continuity should be combined with the principle of creative renewal.

Historical and National Foundations

The formation of agrarian culture in Uzbekistan is associated with the long history of irrigated agriculture in Central Asia. The population of the region accumulated extensive experience in constructing irrigation systems, selecting crops, maintaining soil fertility and organising collective labour. The mahalla and rural community played an important role in coordinating irrigation, supporting families and transmitting professional experience.

Traditional Uzbek agrarian thinking was based on the recognition that individual well-being depended on collective responsibility. Water canals, roads, gardens and pastures could not be maintained through isolated activity. Cooperation was therefore not merely an economic necessity but also a moral norm. Respect for elders, mutual assistance and joint participation in community work strengthened social solidarity.

Another characteristic of national agrarian culture is the high value attached to honest labour. Agricultural work has traditionally been associated with patience, blessing, prosperity and moral purity. Such concepts encouraged people to avoid wastefulness, care for land and appreciate food as the result of prolonged human effort.

However, contemporary social and economic transformations have affected these values. Urbanisation, labour migration and the growing attractiveness of non-agricultural occupations have changed the attitudes of some young people towards rural life. Agricultural work may sometimes be perceived as physically difficult and socially less prestigious. Therefore, one of the main tasks of modern agrarian education is to demonstrate that contemporary agriculture is connected with science, entrepreneurship, engineering, digital technologies and environmental management. The preservation of national agrarian values should not mean a return to outdated forms of production. Its purpose is to retain respect for land, labour and community while creating a modern agricultural worldview. In this process, cultural heritage becomes a spiritual resource for innovation rather than an obstacle to development.

Opportunities for the Development of Agrarian Culture

One of the most important opportunities is the improvement of agricultural education. Agrarian culture should be formed not only in specialised universities but also in families, schools, vocational institutions and rural communities. Students should receive practical knowledge about land fertility, water conservation, food production and environmental protection. Such education can connect theoretical knowledge with direct observation and agricultural practice.

Agricultural education should also develop ethical responsibility. A qualified specialist must understand not only how to increase yields but also how production decisions affect soil, water, public health and future generations. Therefore, environmental ethics, rural sociology and the philosophy of sustainable development should be integrated into agricultural programmes.

A second opportunity is the digitalisation of agriculture. Geographic information systems, remote sensing, weather monitoring, automated irrigation and digital market platforms can help farmers make informed decisions. FAO has emphasised that knowledge, innovation and digitalisation can contribute to environmentally and economically sustainable agrifood systems and create broader opportunities for rural populations [3, 15].

Nevertheless, technology alone does not produce a high level of culture. The effectiveness of innovation depends on people's ability to understand its purpose and use it responsibly. Digitalisation should therefore be accompanied by professional training, information accessibility and the development of critical thinking. Otherwise, a technological gap may emerge between large agricultural enterprises and small farms.

A third opportunity is the development of water-saving and environmentally sustainable farming. Water has always had special cultural significance in Uzbekistan. In conditions of increasing environmental pressure, the rational use of water should become not only an administrative requirement but also an internal moral conviction. Farmers must recognise that wasting water affects the interests of neighbouring communities and future generations.

Drip irrigation, land levelling, soil monitoring and the cultivation of climate-resilient crops can contribute to efficient resource use. However, these measures become sustainable only when they are supported by ecological awareness. The philosophical foundation of water conservation lies in the idea of shared responsibility: natural resources are not the exclusive property of one individual but a common value entrusted to society.

A fourth opportunity is the expansion of agricultural entrepreneurship and value chains. The growth of processing, storage, logistics and rural services can increase employment and reduce the dependence of rural populations on raw agricultural production. International development programmes in Uzbekistan have also focused on improving access to finance, supporting rural enterprises and promoting market-oriented agricultural value chains [4, 8].

Entrepreneurship contributes to agrarian culture when it is based on fairness, quality, contractual responsibility and respect for consumers. If profit becomes the only

criterion, agricultural activity may lead to excessive resource exploitation or the production of unsafe food. Therefore, the culture of entrepreneurship should include social responsibility and professional ethics.

A fifth opportunity is the active involvement of young people and women in rural development. Their participation can introduce new ideas, management practices and social initiatives into agriculture. Young people are generally more open to digital tools and innovative business models, while women traditionally play an important role in household food security, horticulture and rural community life.

Creating equal access to education, finance, land-use opportunities and decision-making can strengthen the social foundations of agrarian development. This is not merely an economic issue. From a philosophical standpoint, it concerns justice, human dignity and the ability of every individual to realise his or her creative potential.

Environmental Responsibility and Sustainable Development

The future of agrarian culture is inseparable from sustainable development. Sustainability means satisfying present needs without destroying the opportunities of future generations [5, 43]. This principle introduces an important temporal dimension into agricultural responsibility. The farmer is accountable not only for the current harvest but also for the long-term condition of the land.

Soil fertility illustrates this idea clearly. Intensive production may provide short-term economic benefits, but improper crop rotation, excessive chemical use and insufficient soil protection can reduce future productivity. A culturally responsible farmer sees soil as a living ecological system rather than an unlimited means of production. Sustainable agrarian culture also requires changes in consumption. Respect for agricultural labour should encourage the careful use of food and reduce waste. When consumers understand the amount of water, energy and labour required to produce food, their behaviour becomes more responsible. Thus, agrarian culture should include not only producers but also consumers, educational institutions, businesses and public authorities. The concept of ecological justice is particularly relevant. Environmental risks and resource shortages often affect vulnerable rural groups more strongly. Therefore, agricultural reforms should consider not only productivity but also social equality, access to resources and the protection of local communities. Sustainable development is impossible without balancing economic efficiency, ecological security and social justice.

Challenges and Philosophical Contradictions

Despite existing opportunities, the development of agrarian culture faces several contradictions. The first is the contradiction between economic profit and ecological responsibility. Farmers and enterprises may be interested in immediate income, while environmental protection often requires long-term investment. Resolving this contradiction requires appropriate economic incentives, legal mechanisms and environmental education. The second contradiction exists between tradition and modernisation. Rejecting all traditional experience may weaken cultural identity, while refusing innovation may reduce competitiveness. The solution lies in selecting and modernising valuable traditions. Traditional knowledge of local climate, crops and water management can be combined with scientific analysis and modern technology.

The third contradiction is between individual and collective interests. Agricultural producers make independent economic decisions, but their actions may affect shared water resources, soil quality and public health. This requires a culture of dialogue and cooperation among farmers, communities, scientists and state institutions.

The fourth challenge concerns the relationship between knowledge and practice. Scientific recommendations may remain ineffective if they are not accessible to farmers. Conversely, valuable practical experience may remain outside formal research and education. Extension services, agricultural consultations and cooperation between universities and farms can help overcome this gap.

Conclusion. The development of agrarian culture in Uzbekistan is a complex process involving economic, environmental, educational and spiritual factors. Agrarian culture cannot be reduced to technical knowledge or production skills. It expresses the relationship of individuals and society towards land, water, labour, nature and future generations. Uzbekistan possesses significant opportunities for strengthening this culture. These include rich historical agricultural experience, community traditions, expanding educational opportunities, digital technologies, agricultural entrepreneurship and policies aimed at sustainable rural development. However, the effectiveness of these opportunities depends on the formation of ecological responsibility and a conscious attitude towards natural resources.

The philosophical foundation of modern agrarian culture should be based on the unity of tradition and innovation, freedom and responsibility, individual initiative and collective interest. Traditional respect for land and labour must be enriched by scientific knowledge, environmental ethics and modern management practices. A highly developed agrarian culture can contribute to food security, rural employment, environmental protection and social stability. Most importantly, it can form a new type of agricultural actor who perceives land not merely as an economic resource but as a natural, cultural and moral value that must be preserved for future generations.

References

1. President of the Republic of Uzbekistan. Strategy for the Development of Agriculture of the Republic of Uzbekistan for 2020–2030. PresidentialDecreeNo. PD-5853. Tashkent, 23 October 2019.
2. Leopold, A. A Sand County Almanac and Sketches Here and There. New York: Oxford University Press, 1949. 240 p.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Knowledge, Innovation and Digitalization Can Transform Agriculture in Uzbekistan. Rome: FAO, 2023.
4. World Bank. Uzbekistan: Second Rural Enterprise Development Project. Washington, D.C.: WorldBank, 2022.
5. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987. 383 p.
6. Toffler, A. The Third Wave. New York: William Morrow and Company, 1980. 544 p.
7. Altieri, M. A. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Boulder: WestviewPress, 1995. 433 p.

8. World Bank. Uzbekistan Agriculture Modernization Project. Washington, D.C.: World Bank, 2020.
9. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. NewYork: UnitedNations, 2015.
10. Pretty, J. Agri-Culture: Reconnecting People, Land and Nature. London: Earthscan, 2002. 261 p.

«СМЕРТЬ» ЯК СКЛАДНИЙ САКРАЛЬНИЙ ФЕНОМЕН В ІСТОРИКО-ФІЛОСОФСЬКОМУ ДИСПУТІ

Борисова Тетяна
к.філос.н, доцент
Кафедра міжнародної економіки,
управляння і соціально-гуманітарних дисциплін.
Український державний університет
науки і технологій, Україна

Анотація. У дослідженні піднімається питання можливостей та складнощів філософської рефлексії феномену «смерть» у контексті існуючих традицій та підходів в європейській гуманістичній філософії.

Ключові слова: смерть, сакральність, культура, цінність, буття людини.

Введення. Людські запити про сенс та цінність смерті – це частина складного життєвого проекту кожної особистості, що зветься процесом пошуку відповіді на питання про сенс життя. Філософські спроби охопити це питання як проблему та втаємничений феномен вчинялися у кожну нову культурно-історичну епоху різноманітними поколіннями мислителів. На початку дослідження цієї теми у багатьох дослідників виникає спокуса запропонувати якщо не саму філософську концепцію смерті, скільки накреслити особливий шлях до її розуміння, аби він не був схожим з тим, що вже було в історії сказано про смерть. Така мета є і амбітною і водночас корисною, навіть з огляду на її складність та культурологічну заангажованість. Єдине, що є сталим у дослідженні цього питання – це тверде переконання у тому, що актуальність та ступіть складності теоретичного дослідження цього феномену залишається в історії на одному і тому високому рівні. Це саме той випадок, коли кількість написаних праць з цієї теми та різноманітних науково-дослідних проектів суттєво не наближають нас до розкриття таємниці смерті. Гегелівський принцип переходу кількісних змін у якісні не працює з такими сакральними феноменами і не може бути розглянутий у суворому алгоритмі раціонального та лінійного панлогізму.

Мета та задачі дослідження. Здійснити опис основних складових елементів сакральної природи феномену смерті виступає нашим головним завданням у цьому дослідженні. Розкрити горизонт головних проблемних точок у його дослідженні.

Результати дослідження і їх обговорення.

Філософсько-культурологічні образи феномену смерті можуть носити множинний та різноманітній характер, оскільки це закладено природою обох – і самої культури і філософської рефлексії смерті. Проблема сакральності феномену ускладнює онто-гносеологічне та культурно-антропологічне її обґрунтування. Як світло та темрява пов'язані між собою тим, що обидва мисляться нами через співвідношення з поняттям «висота». Так само і філософський образ феномена «смерть» не можливо розглядати відірвано від певної філософської картини світу та її сакральної природи. Це має послужити прологом до будь-яких, навіть несистемних чи некласичних спроб зазирнути у таємницю феномену «смерть».

В історії філософської думки є велика кількість мислителів та їх праці, що були присвячені темі смерті та її загадковій природі. Це стосується як традицій західної так і східної культур мислення. Однак варто на цьому етапі підкреслити, що це різноманіття образів розуміння смерть, хоч і виглядає привабливим, проте більш цінним на думку філософів є те, що робить ці образи схожими. Тотальність схожих рис онтологічно укорінює феномен смерті як частину феномену життя в усіх картинах світу (культурологічній, філософській, історичній, релігійній, мистецькій).

Варто звернути увагу на цілу низку актуальних питань та тем, що провокує до розгляду цей аналіз. Вони у майбутньому можуть стати окремими напрямками в межах великого сучасного диспуту про феномен смерті. Наразі це лише евристична частина потенційного дослідження. Отже мова йде про таке:

- питання про догматику смерті як питання про її канон;
- цінність та самоцінність феномену смерті;
- аналіз феномену «культура смерті» в його сучасній транскрипції;
- проблема війни та миру як складова роздумів про феномен «смерті»;
- смертна природа людини в філософській антропологічній рефлексії;
- зв'язок феномену смерті з феноменом свободи в європейській культурній традиції;
- феноменологія смерті(ключові проблемні точки та перспективи розвитку);
- табуйованість теми смерті в сучасному постмодерному дискурсі;
- ціннісні аспекти смерті в релігійній картині світу;
- секуляризований образ смерті;
- страх смерті як частина метафізики смерті;
- ірраціональні аспекти смерті, їх спроба аналізу та опису мовою філософів;
- «смертна пам'ять» через призму християнсько-богословського аналізу;
- нігілістичні спроби зобразити феномен смерті в філософії.

Окремим дискусійним полем може виступити тематика методологічного виміру та епістемологічного обґрунтування у дослідженні феномену смерті. Сучасний регламент науково дослідження накладає на мислителя низку обов'язкових елементів у дослідженні. Методологічний супровід – є обов'язковим. Оскільки мова йде про ірраціональність природи та сакральну

онтологію смерті, то це лише ускладнює і так не просту тему. Ключем до її розв'язання може виступати, як на нашу думку, самообмеження дослідника стосовно культурно-філософського контексту. Коли мислитель на старті свого аналізу визначається з культурологічний контекстом у межах якого буде розгортати живу тканину метафізики смерті. Зауважимо, що до уваги не беруться її біо-медичні та природничо-наукові характеристики, оскільки у цьому менше різноголосся та суперечностей.

Ще однією спільною рисою у спробі розгледіти універсальні особливості феномену смерті в історико-філософському дискурсі є її тісний зв'язок з проблемою життя та феноменом свободи. Український мислитель ХХ століття П.Євдокимов дуже влучно про це вказав у своїй праці «Незбагненна любов Божа». Ось як він пише про смерть: «Мовчання померлих тяжіє над живими. Однак із часів Христа смерть набуває християнського виміру, вона перестає бути несподіваною, перетворюється на велику зачинательку. «Цариця жаху», як називає її Іов, смерть вириває людину з плину її повсякденності і забуття. Вона вражає своєю необоротністю. Вона не існує сама по собі, не життя є феноменом смерті, це смерть є перехідним феноменом життя. Так само як заперечення йде слідом за ствердженням, вона – явище вторинне і винятково руйнівне. Коли первісну рівновагу було порушено, смерть стала долею усіх «смертних», залишаючись, однак, протиприродною. Звідси походить жах, що його відчуває людина, яка помирає» [1, С.74].

Проблемою сучасних досліджень цього феномену, на нашу думку, є парадокс, який криється у двох протилежних за своїм характерах підходах. Перший, полягає у бажанні зобразити феномен смерті креативно через виписування деталей, специфічних рис, індивідуальних проявів, різноманітних культурних та містичних традицій, які з'являлися у різні філософські епохи. З іншого, це сучасна гонитва за пресловутим різноманіттям підходів та описів через необґрунтовану та аксіологічно не вивірену еклектику. Кожний підхід має право на існування хоча б тому, що може вважатися черговою спробою підійти до розгляду складного феномену. Проте цінність їх та ступінь вразливості для критики з боку академічного філософствування можуть бути різними.

Висновки:

1. Складність феномену смерті, його сакральна природа та вічна актуалізація в різні культурно-історичні епохи змушує дослідників вже на перших етапах вивчення цієї теми шукати виправдання своїм скромним досягненням на цьому шляху.

2. Ознака сакральності феномену смерті виступає канонічною рисою у її зображенні в різноманітних картинах світу та культурологічних контекстах.

3. Тема смерті має виступати необхідним складовим елементом онтологічного обґрунтування людської культури.

Список використаних джерел

1. Євдокимов П. 2004. Незбагненна Божа любов. Київ: ДУХ І ЛІТЕРА.
2. Кримський С. 2003. Запити філософських смислів. Київ: ПАРАПАН.

ECOLOGICAL RESPONSIBILITY AND COMMUNICATION AS FOUNDATIONS OF ENVIRONMENTAL CULTURE

Xudoyberdiyev Dilshod Murodovich
Dean of the Faculty of Social Sciences, Karshi State University,
PhD, Associate Professor

Abstract. This article examines ecological responsibility and communication as two interrelated foundations of environmental culture. The study argues that ecological problems cannot be addressed only through technological modernization or legal regulation. Sustainable change also requires a value-based attitude toward nature, personal responsibility, practical environmental education, and effective public communication. Special attention is paid to the roles of family, educational institutions, local communities, mass media, digital platforms, and youth initiatives. The article concludes that environmental culture becomes socially effective when ecological knowledge is transformed into everyday habits, civic participation, and institutional practice.

Keywords: ecological responsibility, environmental culture, ecological consciousness, environmental education, communication, values, sustainable development, youth.

Introduction

Environmental challenges have become a defining issue of contemporary development. Climate change, water scarcity, soil degradation, biodiversity loss, and pollution affect not only individual regions but also the long-term prospects of humanity. These processes show that ecological security is inseparable from social values, cultural norms, and patterns of human behavior. When nature is treated merely as an unlimited source of consumption, short-term economic interests begin to prevail over long-term environmental balance [6, 41].

Ecological consciousness refers to an individual's understanding of the interdependence between human life, society, and the natural environment. Environmental education develops this understanding through knowledge and practical skills, while environmental culture expresses it in daily conduct, consumption habits, professional activity, and civic responsibility. Therefore, the formation of environmental culture requires more than the transmission of information; it requires the development of moral commitment and a sense of duty toward future generations [7, 18].

The purpose of this article is to analyze how values, education, and communication jointly contribute to ecological responsibility. Compared with the original broad discussion of ecological consciousness, education, and culture, the present study focuses more narrowly on the transition from environmental knowledge to responsible social action.

Materials and Methods

The study applies social-philosophical analysis, comparative interpretation, and a value-oriented approach. It draws on scholarly literature on environmental ethics and education, international documents on sustainable development, and national policy materials related to the green economy and environmental protection. The analysis also uses an institutional approach to examine the interaction of family, school, community, media, and civil society.

The methodological premise is that environmental culture is formed at three connected levels: cognitive, axiological, and behavioral. The cognitive level provides knowledge about environmental processes; the axiological level develops respect and responsibility toward nature; and the behavioral level turns these convictions into practical habits and social participation [5, 67].

Results and Discussion

The first important finding is that ecological responsibility begins with a change in the human perception of nature. A purely consumerist worldview separates people from the natural environment and weakens the ability to foresee consequences. A responsible ecological worldview, by contrast, understands the human being as part of a larger natural system and requires balance between present needs and the interests of future generations [8, 12].

National traditions can strengthen this value-based attitude. Respect for land, water, trees, food, cleanliness, and moderation has long been reflected in everyday customs and moral teachings. Such cultural resources are particularly effective when they are linked with universal principles of sustainable development. In this way, ecological education becomes not an imported slogan but a continuation of socially recognized moral norms [1, 96].

The family is the primary environment in which ecological habits are learned. Children observe whether adults save water and energy, care for plants, avoid waste, and keep common spaces clean. Educational institutions then systematize these habits through scientific knowledge and practical activity. Lessons become more effective when they include local environmental observation, waste sorting, tree planting, water-saving projects, and community-based initiatives rather than remaining limited to abstract information [4, 35].

A second major finding concerns communication. Environmental communication is not simply the transfer of facts; it is the creation of shared meaning, trust, and collective responsibility. Mass media, social networks, podcasts, videos, and public campaigns can make ecological issues visible, but their influence is limited when communication consists only of formal appeals. Messages become persuasive when they explain concrete consequences and offer realistic actions that individuals and communities can take [5, 104].

Dialogue is especially important because ecological decisions often involve competing interests: economic growth, employment, agriculture, industry, public health, and nature conservation. Open discussion involving experts, local residents, young people, and public institutions increases the legitimacy of environmental

decisions and strengthens social cooperation. Thus, ecological communication should be participatory rather than one-directional.

Young people are central actors in this process. Their activity on digital platforms, openness to innovation, and readiness for volunteer action create opportunities for "green school," "green university," zero-waste events, cycling campaigns, ecological startups, and local conservation projects. Youth should be treated not only as recipients of environmental education but also as authors of ideas and organizers of change [7, 43].

Environmental culture also requires institutional support. Personal habits are significant, but they cannot replace environmental legislation, public monitoring, responsible business practice, green technologies, and effective waste-management systems. Sustainable results emerge when individual responsibility and institutional accountability reinforce one another. This combination transforms environmental culture from a private virtue into a stable social norm [3, 9].

Conclusion

Ecological responsibility and communication are essential foundations of environmental culture. Ecological knowledge becomes socially meaningful only when it is connected with values, practical education, public dialogue, and institutional mechanisms. Family, educational institutions, local communities, media, digital platforms, government bodies, and civil society must therefore operate as a coordinated system.

The analysis shows that the most effective model combines three elements: understanding ecological interdependence, accepting moral responsibility, and participating in practical action. When these elements are integrated, environmental education moves beyond formal instruction and becomes a factor of sustainable social development. The cultivation of such a culture is particularly important for young people, whose everyday choices and civic initiatives will shape the environmental future of society.

References

1. Karimov, I. A. High Spirituality Is an Invincible Force. Tashkent: Ma'naviyat, 2008. 176 p.
2. Mirziyoyev, Sh. M. The Strategy of New Uzbekistan. Tashkent: O'zbekiston, 2021. 464 p.
3. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. PQ-436 of 2 December 2022 on increasing the effectiveness of reforms aimed at transition to a green economy by 2030.
4. Law of the Republic of Uzbekistan "On Nature Protection." Tashkent, 1992.
5. Nazarov, Q. Philosophy of Values. Tashkent: National Society of Philosophers of Uzbekistan, 2004. 224 p.
6. Nigmatov, A. N. Theoretical Foundations of Ecology. Tashkent: Fan va Texnologiya, 2013. 320 p.
7. UNESCO. Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. Paris: UNESCO Publishing, 2017. 62 p.
8. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015. 35 p.

Section: Physical Culture and Sports

SUBSTANTIATION OF AN ADAPTIVE ANNUAL TRAINING MACROCYCLE MODEL FOR MILITARY PERSONNEL PREPARING FOR POLYATHLON COMPETITIONS

Shyrai Vadym
Master's degree candidate
Penkovets Vasyl
Associate Professor
Department of Theory and Methods of Physical Culture and Sports
T. H. Shevchenko National University "Chernihiv Collegium", Ukraine

Abstract. Improving the system of physical training for military personnel is one of the priority directions in the development of military sports and professionally oriented physical training. Particular attention is focused on identifying effective approaches to organizing the training process of military polyathlon athletes, as the performance of military duties and combat-related tasks significantly affects the structure, volume, and content of training loads. To achieve the research objective, the following methods were employed: analysis and synthesis of scientific and methodological literature, analysis of regulatory documents, pedagogical observation, pedagogical experiment, pedagogical testing, and methods of mathematical statistics.

The proposed model is based on adaptive planning of the annual training process, which involves flexible adjustment of the structure of mesocycles and microcycles according to the level of military service workload, the functional status of military personnel, and the competition calendar. The results of the pedagogical experiment demonstrated that implementation of the developed model resulted in significantly greater improvements in physical fitness, functional capacity, and professionally oriented physical preparedness compared with the traditional training system. In addition, the proposed approach contributed to maintaining sports performance under conditions requiring the simultaneous integration of training activities and military service. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the adaptive model to the planning of the annual training macrocycle for military polyathlon athletes in sports teams of military units and institutions of the security and defense sector.

Key words: polyathlon, military personnel, annual macrocycle, adaptive model, physical training, sports training, occupation-specific physical training.

Introduction. Physical training of military personnel is an integral component of professional readiness and one of the key factors ensuring the successful performance of military duties and combat-related tasks. Modern military service is associated with considerable physical, psycho-emotional, and physiological demands, requiring a high

level of strength, endurance, speed-strength abilities, coordination, and rapid recovery capacity. Therefore, improving the system of physical training through the implementation of scientifically grounded approaches to training process planning has become an important objective of modern military sports science [7].

One of the most effective means of developing occupation-specific physical qualities in a comprehensive manner is polyathlon. By combining events with different functional demands within a single sport, polyathlon promotes the integrated development of physical fitness, enhances the body's functional capacity, and fosters the psychophysical resilience required for military service. Therefore, polyathlon should be regarded not only as a competitive sport but also as an effective means of occupation-specific physical training for military personnel.

However, the conditions of military service differ substantially from those of athletes training in civilian sports organizations. The performance of military and combat-related duties, participation in military exercises, field training, duty shifts, and other combat training activities results in irregular training loads, limits adherence to the classical structure of sports periodization, and necessitates continuous adjustment of the training process. Under such conditions, traditional annual macrocycle models do not always ensure the maintenance of optimal athletic performance and functional readiness of military personnel.

An analysis of the scientific literature on military physical training and sports training demonstrates the substantial contribution of both Ukrainian and international researchers to the development of training periodization theory and athlete preparation methodologies. At the same time, insufficient attention has been paid to adapting the annual macrocycle to the operational conditions of military personnel specializing in polyathlon. Most available studies focus on individual aspects of physical or sport-specific training, whereas the problem of integrating athletic preparation with military service within a unified annual training model remains inadequately investigated.

Therefore, there is a clear scientific and practical need to develop an adaptive annual macrocycle model capable of ensuring effective training process management while accounting for fluctuations in military workload, maintaining athletic performance, and preserving a high level of professional readiness among military personnel.

Aim and Objectives of the Study. The aim of this study was to provide a scientific rationale for, develop, and experimentally evaluate the effectiveness of an adaptive annual macrocycle model for preparing military personnel to participate in polyathlon competitions, designed with consideration of the specific demands of military service and combat-related activities.

To achieve this aim, the following objectives were established:

1. To analyze the current state of scientific and methodological support for the preparation of military personnel for participation in polyathlon competitions and to examine the principles underlying the design of the annual training cycle.

2. To develop an adaptive annual macrocycle model for military personnel specializing in polyathlon, taking into account the specific requirements of military service and combat-related activities.

3. To experimentally evaluate the effectiveness of the proposed model based on indicators of physical fitness, functional readiness, and occupation-specific physical preparedness of military personnel.

4. To assess the potential for implementing the adaptive model within the physical training system of the Armed Forces.

A review of recent scientific research indicates that physical training is regarded as one of the principal factors contributing to the professional readiness of military personnel and the effective performance of military and combat-related tasks. Studies by O.O. Bolshakov, S.V. Romanchuk, N.S. Sorokolit, V.M. Afonin, O.V. Rymar, V.B. Klymovych, A.A. Baldetskyi [1], and other researchers have emphasized the need to improve the military physical training system through the application of modern approaches aimed at developing special endurance, enhancing functional resilience, and improving occupation-specific physical qualities.

Polyathlon has been identified as a promising means of comprehensive physical training, as it simultaneously develops strength, speed, coordination, and endurance. Studies conducted by V. H. Fotyniuk [2], V.S. Kharchenko [5], A.V. Bilousov, L.M. Shulha [5]8, H.O. Lytovchenko [6], and other researchers have confirmed the effectiveness of this sport in improving athletes' physical fitness and functional preparedness. However, most existing studies have focused on athletes in the civilian sports sector and have not considered the specific demands associated with military service.

At the same time, the specific nature of military service is characterized by irregular physical workloads, participation in military exercises, field deployments, duty shifts, and other combat training activities, which significantly limits the applicability of traditional annual macrocycle planning models unless they are adapted to the operational conditions of military service.

Therefore, the analysis of the available literature indicates that the methodological foundations for designing an annual macrocycle for military personnel specializing in polyathlon, while accounting for the variable nature of military service, remain insufficiently developed**.** This highlights the need to develop an adaptive annual macrocycle model that integrates the principles of sports periodization with the professional requirements of military personnel [3].

Research Design. The study was conducted over a 12-month period at a military unit. The pedagogical experiment involved 40 military personnel aged 22–38 years, who were divided into a control group (n = 20) and an experimental group (n = 20). The control group followed a conventional training program, whereas the experimental group trained according to the author's adaptive model of the annual macrocycle for preparing military personnel to participate in polyathlon competitions.

The effectiveness of the proposed model was assessed based on indicators of physical fitness, functional status, and military-applied physical readiness.

The pedagogical experiment consisted of three consecutive stages: the diagnostic stage (analysis of the current state of the problem, baseline testing, and group allocation), the formative stage (implementation of the adaptive annual macrocycle model), and the final stage (post-intervention testing and statistical analysis of the obtained results).

The study employed analysis and synthesis of scientific and methodological literature, analysis of regulatory documents, pedagogical observation, pedagogical testing, functional assessment methods, and methods of mathematical statistics.

The participants' level of preparedness was assessed using a comprehensive battery of performance tests evaluating muscular strength, speed, endurance, functional fitness, and military-applied physical readiness. The testing protocol included pull-ups, push-ups, one-minute sit-ups, the 100-m sprint, the 3000-m run, the Ruffier test, measurement of heart rate at rest and after exercise, assessment of recovery rate, and evaluation of sports performance based on the total number of points obtained according to the official Polyathlon competition regulations.

A distinctive feature of the experimental methodology was the adaptive planning of the training process, which involved flexible adjustment of the mesocycle and microcycle structure according to military workload, participation in military exercises, field training, duty shifts, and other combat training activities. This approach made it possible to maintain optimal sports performance while ensuring the uninterrupted fulfillment of military duties.

The obtained data were processed using methods of descriptive and inferential statistics. Differences between the groups were evaluated using Student's *t*-test. Statistical significance was accepted at $p < 0.05$.

The results of the baseline assessment revealed no statistically significant differences between the control and experimental groups ($p > 0.05$), confirming the homogeneity of the groups and ensuring the validity of subsequent comparisons of the effectiveness of the proposed model. Following completion of the intervention phase of the pedagogical experiment, all participants underwent post-intervention testing. The obtained results served as the basis for evaluating the effectiveness of the proposed adaptive model. The changes in the studied indicators after completion of the pedagogical experiment are presented in Table 1.

Table 1. Changes in the preparedness indicators of military personnel during the pedagogical experiment

Indicator	Control group	Experimental group	p
Strength fitness	+10,7 %	+27,5 %	<0,05
Speed fitness	+2,8 %	+5,2 %	<0,05
General endurance	+5,6 %	+12,2 %	<0,05
Functional status	+8,8 %	+17,8 %	<0,05
Professionally applied physical fitness	+8,4 %	+16,9 %	<0,05
Overall physical preparedness index	+7,3 %	+15,9 %	<0,05

Statistical analysis confirmed a significant advantage of the experimental methodology over the traditional training approach for most of the investigated indicators ($p < 0.05$). The greatest improvements were observed in strength performance, functional status, and the overall preparedness index of the military personnel.

The most pronounced changes were found in strength performance. During the pedagogical experiment, the improvement in the experimental group reached 27.5%, exceeding that of the control group by 16.8 percentage points. These findings indicate the high effectiveness of the proposed strength training planning system, which ensured an optimal balance between the development of maximal strength and strength endurance while preventing excessive training stress.

Positive changes were also observed in general endurance. The improvement amounted to 12.2% in the experimental group compared with 5.6% in the control group. These results suggest that adaptive planning of the training process contributed to a more effective development of aerobic capacity and helped maintain a high level of work capacity under conditions combining sports training with

Less pronounced changes were observed in speed performance, which is consistent with current understanding of the physiological mechanisms underlying the development of speed abilities. Nevertheless, the improvement achieved by the military personnel in the experimental group was greater than that observed in the control group, indicating the positive effect of the proposed methodology on the comprehensive development of physical qualities.

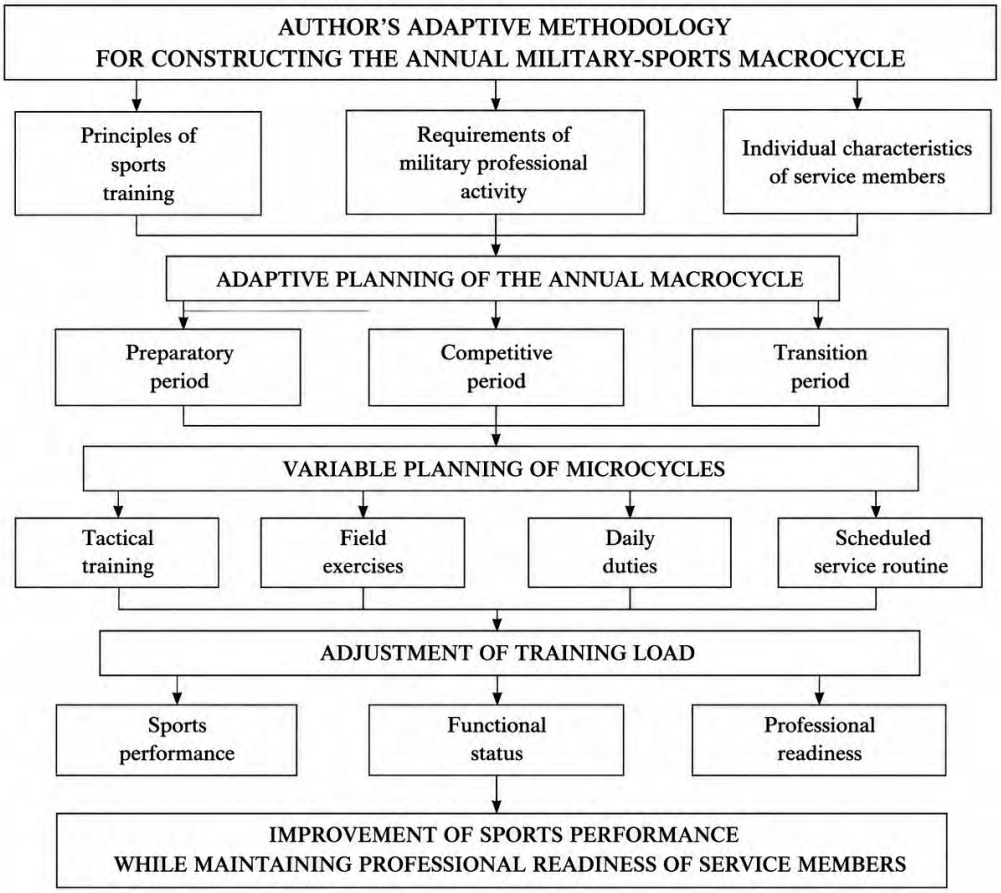
Indicators of functional status were of particular importance in evaluating the effectiveness of the proposed methodology. Military personnel in the experimental group demonstrated greater improvements in post-exercise recovery rate, a reduction in the Ruffier Index, and enhanced cardiovascular efficiency, confirming the development of stable adaptive responses resulting from adaptive planning of the training process.

In addition to physical and functional preparedness, the performance of occupation-specific physical tasks was also evaluated. Military personnel in the experimental group achieved significantly better results in casualty evacuation (carrying a simulated casualty), magazine loading, and obstacle course completion, indicating the positive effect of the proposed methodology on the development of occupationally relevant motor skills.

The overall analysis of all investigated indicators demonstrated that the integrated improvement in preparedness reached 15.9% in the experimental group compared with 7.3% in the control group. These findings confirm that the proposed adaptive annual macrocycle model provides a more effective integration of sports training with military operational duties and creates favorable conditions for the sustainable improvement of both athletic performance and professional readiness among military personnel.

The findings of the pedagogical experiment served as the basis for developing the author's adaptive annual macrocycle model for preparing military personnel for polyathlon competitions (Figure 1). The model was designed to integrate the principles

of sports training with the specific demands of military service, thereby ensuring the maintenance of optimal athletic performance while preserving the professional readiness of military personnel.



Source: developed by the author

Figure 1. Author's adaptive model of the annual macrocycle for preparing military personnel for participation in polyathlon competitions

The developed model illustrates the interrelationship between the structure of sports training, military service and combat activities, and the mechanisms of adaptive training process management aimed at maintaining an optimal level of physical and professional readiness of military personnel.

The proposed model integrates three interrelated components: the principles of sports periodization, the requirements of military service and combat activities, and the individual characteristics of military personnel. Unlike conventional planning models, it provides for the flexible adjustment of mesocycle and microcycle content according to the level of service-related workload while preserving the overall structure of the annual training cycle.

The key component of the model is adaptive training process management. Depending on participation in tactical exercises, field training, combat duty, or other military activities, the volume and intensity of training loads are adjusted, the balance

between general and special physical training is modified, and recovery strategies are optimized. This approach minimizes the adverse effects of service-related workload on sports performance while maintaining an optimal functional state.

The proposed model was validated through a pedagogical experiment and demonstrated significantly greater improvements in the physical, functional, and occupationally oriented physical fitness of the experimental group compared with the traditional training system. The findings confirm the feasibility of applying adaptive planning of the annual macrocycle in preparing military personnel for participation in polyathlon competitions.

The obtained findings support the contemporary theory of sports training, emphasizing the necessity of individualized and flexible training process planning. At the same time, the present study demonstrates that conventional models of sports periodization require adaptation to the specific conditions of military service, where the training process must be continuously integrated with the performance of military service and combat-related duties.

The advantages of the proposed model extend beyond improvements in sports performance, as it also promotes more effective functional adaptation of military personnel to varying levels of physical and psycho-emotional workload. The obtained findings are consistent with the conclusions of V.S. Kharchenko and A.V. Bilousov [5] regarding the decisive role of an optimal balance between training load and recovery in the development of long-term athletic adaptation. They also agree with the studies of S.V. Romanchuk, O.M. Oderov, and V.M. Klymovych [4], who emphasize the importance of aligning the physical training system of military personnel with the actual requirements of professional military service.

Unlike previously proposed approaches, the author's model systematically incorporates service-related workload as one of the principal factors in training process management. In our opinion, this feature accounted for the more pronounced positive changes observed in the physical and functional fitness of the experimental group.

Nevertheless, the findings should be interpreted in light of certain study limitations. The pedagogical experiment was conducted within a single military unit, and the effectiveness of the proposed model was evaluated over the course of one annual macrocycle. Therefore, further research should focus on verifying its effectiveness among different categories of military personnel and across multiple training cycles.

Conclusions. The findings of the present study confirmed the effectiveness of the author's adaptive model of the annual macrocycle for preparing military personnel for participation in polyathlon competitions, developed with due consideration of the specific requirements of military service and combat-related activities. Unlike conventional approaches to sports training, the proposed model enables flexible adjustment of the training process in response to changes in service-related workload while preserving the fundamental principles of sports periodization.

The pedagogical experiment demonstrated that the application of the adaptive model resulted in greater improvements in the physical, functional, and occupationally

oriented physical fitness of military personnel compared with the traditional training program. The most pronounced positive changes were observed in strength performance, general endurance, functional status, and the overall level of physical preparedness, confirming the effectiveness of the proposed approach to planning the annual training cycle.

The practical significance of the proposed model lies in its potential application within the physical training system of the Armed Forces of Ukraine and other military organizations for preparing military personnel to participate in polyathlon competitions. Its implementation facilitates the maintenance of a high level of sports performance without compromising the professional readiness of military personnel to perform military service and combat-related duties.

Future research should focus on evaluating the effectiveness of the adaptive model over multiple annual macrocycles and on adapting it for military personnel representing different categories and military occupational specialties.

References

1. Bolshakov, O. O., Romanchuk, S. V., Sorokolit, N. S., Afonin, V. M., Rymar, O. V., Klymovych, V. B., & Baldetskyi, A. A. (2024). Osoblyvosti fakhovoi pidhotovky viiskovosluzhbovtsiv tankovykh pidrozdiliv. Naukovyi Chasopys Ukrainskoho Derzhavnoho Universytetu Imeni Mykhaila Drahomanova. Seriia 15, (6(179)), 60-67. https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.6(179).10
2. Fotyniuk, V. H. (2013). Poliatlon yak efektyvnyi zasib profesiino-prykladnoi fizychnoi pidhotovky studentiv. In Fizychne vykhovannia u konteksti suchasnoi osvity: Proceedings of the VIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (pp. 188-189). https://er.kai.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2c4543ae-934c-4c31-ae69-7dc7dedca7c7/content
3. Fotyniuk, V. H. (2016). Poliatlon yak efektyvnyi zasib fizychnoi pidhotovky ta testuvannia studentskoi molodi. Naukovyi Chasopys Natsionalnoho Pedahohichnoho Universytetu Imeni M. P. Drahomanova. Seriia 15, (3(72)), 143-146. https://enpuir.udu.edu.ua/entities/publication/caead91e-095d-4892-a40d-abdd9c8c4abe
4. Iedynak, G., Romanchuk, S., & Lototsky, I. (2020). The effect of training in military pentathlon on the physiological characteristics of academy cadets. SportMont, 18(3), 95-99. https://doi.org/10.26773/smj.201007
5. Kharchenko, V. S., & Bilousov, A. V. (2021). Rozvytok ta pokhodzhennia "poliatlona". In Problemy ta perspektyvy zabezpechennia tsyvilnoho zakhystu: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists (pp. 254-255). National University of Civil Protection of Ukraine. https://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18629
6. Lytovchenko, H. O. (2004). Deiaki aspekty do pytan modelnykh kharakterystyk sportsmeniv-poliatlonistiv. Pedahohika, Psykholohiia ta Medyko-Biolohichni Problemy Fizychnoho Vykhovannia i Sportu, (9), 44-47.
7. Polataiko, Y. O. (2004). Poliatlon [Navchalnyi posibnyk]. Plai. (In Ukrainian).
8. Shulha, L. M. (2012). Poliatlon: Metodyka navchannia. (In Ukrainian).

Section: Technical Sciences

WEAR RESISTANCE OF TI-CFRP/GFRP CONTACT WITH LASER DEPOSITION

Khimko Andrii
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine

Problems of contact of titanium alloys with composite materials appeared since 2010 when aircrafts created according to new standards with massive use of composite materials CFRP and GFRP began to be operated. Such aircrafts as Boeing 787 Dreamliner and Airbus 350WXB use more than 50 % CFRP/GFRP in their designs, which increases the economic and tactical and technical characteristics of aircrafts to a new level. However, with the total use of composite materials in these aircrafts, certain problems also appear [1-5] related to the contact of TI-CFRP/GFRP.

When metallic materials and composite materials come into contact with reinforcing carbon, glass and aramid fibres, a harder material (composite materials) is cut into a softer material (titanium and aluminium alloys) [6]. The effect of destruction is enhanced by vibration loads inherent in any equipment with rotating engines. Vibrations that spread through the structure cause the surfaces to move at the micro level of those nodes that were either undertightened or unscrewed during operation. Damage to the surfaces is characteristic of fretting corrosion [7-10] where displacements of 1-5 microns are sufficient to destroy materials.

As a protection against contact during vibrations, engineers and researchers offer a number of technological solutions and approaches. For example, in [11] it is proposed to use intermediate materials that can be made from both wear-resistant polymer composite materials [12] and plastic metals with solid lubricants [13]. It is also proposed to use various coatings on the surfaces of titanium alloys with high hardness and wear resistance [14]. However, there is a method that allows both strengthening the friction surface and restoring it.

The method of laser surfacing (Fig. 1) of metals onto various metallic materials is quite popular in the aviation industry due to its characteristics and high wear-resistant coatings [15]. The advantages of this method are as follows:

1. Increasing the hardness and strength of the surfacing materials due to heat treatment and the introduction of additional materials into their composition.

2. High wear resistance of deposition, which significantly reduces abrasive and adhesive wear during friction.

3. High adhesion strength of coatings to the base and high cohesive properties of surfacing materials.

4. Sufficient thickness of deposition materials (usually from 0.5 mm during strengthening and up to 3-5 mm during restoration) for tribological purposes.

5. High coating quality (the deposition layer has a dense structure without pores and cracks).

6. Absence of deformations. Due to local and dosed heating, the products do not warp, which allows processing of high-precision and finished parts without the need for further complex mechanical processing.

7. A small heat-affected zone allows for the deposition of thin layers of material and the restoration of the geometry of elements without changing the structure of the base metal in depth.

8. High concentration of energy on a small area allows, with the simplicity of the equipment, to use it without special high-cost equipment and tolerances.

Fig. 1 The process of laser deposited a part during its restoration

Analysis of studies of wear resistance of deposited materials in fretting corrosion tests [16-20] showed that the increased wear resistance of deposited titanium alloys is due to several reasons:

1. Microstructural optimization due to rapid cooling. The deposition technology often implies rapid cooling of the molten material, which leads to the formation of a fine-grained structure. The fine-grained structure is characterized by a high number of grain boundary phases, which play the role of a barrier to crack propagation and slow down the wear process.

2. Minimal mixing with the base material. The controlled deposition process allows for virtually avoiding significant diffusion of the base metal into the deposited layer. This ensures the preservation of the optimal composition and microstructure of the coating, which is not "diluted" by the phases of the base, which additionally increases the overall wear resistance.

3. The presence of residual compressive stresses. In some cases, the deposited layers are formed with residual compressive stresses. Such stresses contribute to the suppression of the formation and growth of microcracks that occur under the influence

of cyclic fretting corrosion loads. This allows the layer to retain its protective properties for a longer time, even under aggressive operating conditions.

Conclusions. Thus, the method of increasing the wear resistance of titanium alloys by laser deposition allows to increase the wear resistance of the Ti-CFRP/GFRP contact by up to 200 %, depending on the composition of the coating and wear conditions.

References

1. Khimko A.M. Analysis of the use and damage of titanium alloy parts in aircraft. Вісімнадцята міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (ІІРТК-2025), 20-21 травня 2025 р. Київ.: КАІ, 2025. С. 65-68
2. Khimko, A., Mikosianchik, O., Khimko, M., & Filonenko, O. (2025). Wear resistance of titanium alloy–composite contacts depending on manufacturing technology under nominally fixed contact conditions. Problems of Friction and Wear, 3(108), 28–37. https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(108).20445
3. Khimko, A., Popov, O., & Khimko, M. (2026). Effect of temperature on the wear resistance of Ti6Al4V–CFRP/GFRP contact under vibration conditions. Problems of Friction and Wear, 1(110), 4–12. https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(110).20915
4. Khimko, A., Mikosianchik, O., Mnatsakanov, R., Bespalov, S., & Tokaruk, V. (2025). Analysis of damage to aircraft parts made of titanium alloys and increase of their wear resistance by gas-thermal coatings. Problems of Friction and Wear, 2(107), 4–10. https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(107).20057
5. Khimko, A., Kralya, V., Yakobchuk, A., Kostuchik, V., & Sidorenko, A. (2011). Units wearability of aircraft wing lift devices. Problems of Friction and Wear, 55, 112–117. https://doi.org/10.18372/0370-2197.55.3249
6. Khimko, A. (2025). Influence of corrosive and aggressive environments on the contact of aluminum and titanium alloys with CFRP under vibration loading conditions. Problems of Friction and Wear, 4(109), 95–104. https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(109).20757
7. Kralya, V. A., Khimko, A. N., & Borodii, V. N. (2007). Wear resistance of plasma coatings for a constant work of friction. Strength of Materials, 39(5), 523–528. https://doi.org/10.1007/s11223-007-0058-5
8. Хімко, А., Хімко, М., Попов, О., & Кліпаченко, В. (2025). Оцінка напружено-деформованого стану композиційних матеріалів для шарнірних підшипників. Problems of Friction and Wear, 1(106), 4–16. https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(106).19819
9. Khimko, A., & Smirnova, O. (2012). Technique of testing on fretting at the sphere-to-plane contact. Proceedings of National Aviation University, 53(4). https://doi.org/10.18372/2306-1472.53.3515
10. Kralya, V., Molyar, O., Trofimov, V., & Khimko, A. (2010). Defects of steel units of the high-lift devices of aircraft wings caused by fretting corrosion. Materials Science, 46, 108–114. https://doi.org/10.1007/s11003-010-9270-8

11. Khimko, M., Khimko, A., Mnatsakanov, R., & Mikosyanchyk, O. (2024). Resource testing of modified plain bearings for the aviation industry. Problems of Tribology, 29(2/112), 16–22. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-16-22
12. Khimko, A., Mikosyanchyk, O., Khimko, M., & Klipachenko, V. (2026). Increasing the durability of the Ti-GFRP/CFRP contact with a layer of wear-resistant polymer composite coatings under vibration load conditions. Problems of Tribology, 31(2/120), 16–22. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2026-120-2-16-22
13. Мікосянчик, О., Педан, Є., Мнацаканов, Р., Хімко, А., Богдан, С., & Чава, К. (2023). Аналіз моделей та методів оцінки міцністних характеристик полімерних композиційних матеріалів. Problems of Friction and Wear, 3(100), 15–29. https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(100).1789
14. Khimko, A., Khimko, M., Makarenko, R., & Tokaruk, V. (2026). Effectiveness evaluation of conversion coatings on titanium alloys in contact with GFRP under nominally stationary conditions. Problems of Friction and Wear, 2(111), 31–39. https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(111).21334
15. Xiao, Y., Sun, C., Wu, X., Zhu, X., Kan, Y., & Zhang, Y. (2023). Restoration of pure copper motor commutator for aviation by laser powder deposition. Journal of Materials Research and Technology, 23, 5796–5806. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.152
16. Хімко, М., Хімко, А., Мнацаканов, Р., & Мікосянчик, О. (2024). Вплив теплофізичних властивостей металополімерних композиційних матеріалів на зносостійкість. Problems of Friction and Wear, 3(104), 91–100. https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(104).18984
17. Al-Quraan, T. M., Mikosianchyk, O., Yakobchuk, O., Mnatsakanov, R., Khimko, A., & Kostiunik, R. (2025). The effect of water on the tribological properties of aviation lubricants. Tribology in Industry, 47(3), 513–525. https://doi.org/10.24874/ti.1971.06.25.08
18. Al-Quraan, T. M., Khimko, A., Khimko, M., Mikosianchyk, O., Mnatsakanov, R., & Yakobchuk, O. (2026). Increasing the Wear Resistance of Titanium Alloys in Plain Bearings with Galvanic and Vacuum-Arc Coatings. Tribology in Industry, 48(1), 72–82. https://doi.org/10.24874/ti.2043.10.25.11
19. Хімко, М., Хімко, А., Мнацаканов, Р., Кліпаченко, В., & Макаренко, Р. (2024). Зносостійкість полімерних композиційних матеріалів для шарнірних підшипників. Problems of Friction and Wear, 2(103), 29–42. https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(103).18670
20. Уманский, А. П., Пугачевская, Е. П., & Химко, А. Н. (2009). Разработка технологии нанесения новых износостойких композиционных покрытий для упрочнения деталей авиационных двигателей. Aerospace Engineering and Technology, 9, 38–44.

DETECTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED NETWORK ATTACKS: EVALUATION OF A HYBRID MACHINE LEARNING MODEL IN A SIMULATION ENVIRONMENT

Elvin Ilham oglu Muradov
Department of Information Technology
Research Area: Computer Science, Artificial Intelligence, and Cybersecurity

SUMMARY

The expansion of digital services, cloud infrastructure, and remote connectivity has not only increased the volume of network traffic, but also exposed the limitations of traditional signature-based cybersecurity mechanisms. The purpose of this study is to develop a hybrid machine learning model that combines logistic regression and gradient boosting algorithms to detect suspicious behavior in network flows and to evaluate it in comparison with other classification models. In order to protect the confidentiality of real organizational data and ensure the reproducibility of the experiment, 12,000 synthetic network flows consisting of 12 features were created, 32% of the observations were assigned to the attack class. 80% of the data was allocated to training and 20% to independent test selection. Logistic regression, random forest, gradient boosting, and multilayer perceptron models were compared in terms of accuracy, precision, sensitivity, F1, and ROC-AUC. In the proposed hybrid model, the logistic regression probability was given a weight of 0.15, the gradient boosting probability was given a weight of 0.85, and the decision threshold was set to 0.385 based on the F1 criterion in the validation sample. In the test results, the hybrid model showed 81.5% accuracy, 68.8% precision, 77.1% sensitivity, 72.7% F1, and 89.6% ROC-AUC. Bootstrap estimation determined the 95% confidence interval for the F1 indicator to be 70.2-74.9%, and for the ROC-AUC to be 88.3-91.0%. Feature importance analysis showed that the SYN ratio, packet rate, and number of failed inputs played a key role in decision making. The results indicate that the hybrid approach provides a more balanced compromise between high sensitivity and overall resolution.

Keywords: artificial intelligence, cybersecurity, intrusion detection, machine learning, gradient boosting, logistic regression, network traffic, hybrid model

1. INTRODUCTION

Modern information systems are not just about local networks. Cloud services, mobile devices, remote work, application programming interfaces, and cross-platform data exchange are expanding the digital boundaries of organizations. These changes make it ineffective to limit security controls to the network perimeter. NIST's zero-trust architecture approach also requires that trust not be automatically granted based on the location of a user or device on the network, but that each access attempt be evaluated individually [7]. While traditional intrusion detection systems are effective

in identifying known attack patterns, they can struggle to detect new and altered behaviors. Machine learning can partially overcome this problem by learning multidimensional relationships in traffic, nonlinear dependencies, and deviations from normal behavior. However, in a cybersecurity environment, it is not enough for a model to show high overall accuracy alone. Sensitivity should be considered separately, as missing attack patterns poses a serious risk, and precision should be considered separately, as false alarms increase the operational burden [5].

Databases such as KDD Cup 99, NSL-KDD, and CICIDS2017 have been widely used to compare intrusion detection models. Tavallaee et al. showed that repeated observations in the KDD Cup 99 database can artificially improve the results and proposed the NSL-KDD selection [3]. Sharafaldin et al. developed the CICIDS2017 database, which covers modern attack scenarios and flow-based features [4]. Although these databases are important scientific resources, the fact that laboratory data does not fully represent real-world organizational traffic, class shares change, and behavior updates over time require caution in interpreting model results.

In this study, supervised synthetic network flows were created to demonstrate the method's performance without compromising the confidentiality of real organizational data. The main scientific question of the study was formulated as follows: does a soft voting model, which combines the high sensitivity of logistic regression with the high resolution of gradient boosting, provide a more balanced result in detecting network attacks?

The novelty of the study is expressed in three directions. First, different algorithms are compared not only by accuracy, but also by the criteria of sensitivity, precision, F1 and ROC-AUC, which are more meaningful for security operations. Second, a separate hybrid decision mechanism is built by weighting the probabilities of the base models based on validation. Third, the stability of the results is assessed by bootstrap confidence intervals and the network features that most affect the model's decision are identified.

2. THEORETICAL BASIS AND LITERATURE REVIEW

A machine learning-based intrusion detection system can be represented as a classification function that assigns traffic observations to a specific class. In a simple case, the input vector represents the characteristics of the network flow, and the output variable represents the normal or attack class. The goal is to estimate the probability of unobserved data as accurately as possible.$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p) y \in \{0,1\} P(y = 1 \mid \mathbf{x})$Although logistic regression has a linear decision boundary, it is a useful baseline model in security analytics due to its interpretability, fast learning process, and probabilistic output. Random forest reduces variability and learns nonlinear relationships by combining the results of decision trees built at different bootstrap samplings [1]. Gradient boosting, on the other hand, attempts to reduce the errors of the previous stage by successively building weak trees. This approach, systematized by Friedman, and its scalable development, XGBoost, are widely used in high-dimensional classification tasks [2].

The application of machine learning in cybersecurity is more complex than the classic classification problem. Threat behaviors change over time, attackers can try to learn the decision boundary of the model and purposefully modify the inputs. NIST's adversarial machine learning taxonomy recommends that risks such as data poisoning, evasion, privacy violations, and model abuse be considered throughout the AI lifecycle [9]. Therefore, an intrusion detection model should not be considered a "ready-made solution" based only on initial test results, but should be supplemented with continuous monitoring, retraining, and human oversight.

The NIST AI Risk Management Framework builds trusted AI systems around governance, context, measurement, and risk management functions [8]. The NIST Cybersecurity Framework 2.0, on the other hand, links cyber risk management to the functions of Govern, Identify, Protect, Detect, Respond, and Recover [6]. In this regard, while machine learning models enhance the "Detect" function, model governance, data quality, response procedures, and recovery mechanisms remain integral to the overall security process.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Research design and data generation

The study was conducted in an experimental-simulation design. The database consists of 12,000 network flows and 12 explanatory features. 8,160 of the observations were classified as normal traffic, and 3,840 as attack class. The attack share was 32%. The synthetic design preserves the confidentiality of real network data and allows all calculations to be repeated with the same initial parameters. However, the results should not be directly generalized to a real production network

Table 1. Characteristics of simulated network flows

No.	Feature	Description	Variable Type
1	Duration	Duration of the network flow	Continuous
2	Packet Rate	Number of packets transmitted per unit of time	Continuous
3	SYN Ratio	Proportion of SYN-flagged packets among all packets	Ratio
4	RST Ratio	Proportion of RST-flagged packets among all packets	Ratio
5	Failed Login Attempts	Number of unsuccessful authentication attempts associated with the flow	Discrete
6	Source Bytes	Volume of data transmitted from the source to the destination	Continuous
7	Destination Bytes	Volume of data transmitted from the destination to the source	Continuous
8	Service Count	Number of distinct services within the observation window	Discrete
9	Connection Count	Number of simultaneous connections associated with the same source	Discrete
10	Protocol Entropy	A measure of the diversity of protocol-related information	Continuous
11	Inter-Arrival Time	Time interval between consecutive packets or flows	Continuous
12	Payload Entropy	Entropy of the byte distribution within the payload	Continuous

A linear and nonlinear combination of features, as well as random noise, was used to create the attack class. The overall risk score is expressed as follows:

$$R_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j x_{ij} + \gamma(\mathrm{SYN}_i \times \mathrm{Rate}_i) + \varepsilon_i$$

Here, is the latent risk score of the i-th network flow, is the j-th feature, the feature weight, the interaction coefficient, and is the normally distributed random error. The class label is assigned based on the 68th percentile of the risk score:$R_i x_{ij} \beta_j \gamma \varepsilon_i$

$$y_i = \begin{cases} 1, & R_i \geq Q_{0.68}(R) \\ 0, & R_i < Q_{0.68}(R) \end{cases}$$

The data was split into 80% training and 20% testing sections, preserving stratification. 25% of the training section was used only as a validation sample for selecting the weights and decision thresholds of the hybrid model.

Table 2. Data distribution into training and test samples

Set	Number of Observations	Share, %	Purpose
Training set	9,600	80.0	Model training
Test set	2,400	20.0	Final independent evaluation
Total	12,000	100.0	Complete dataset

Continuous variables are standardized for logistic regression and multilayer perceptron. Standardization expresses the distance of each observation from the mean in standard deviation units:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$$

Here is the mean value of the jth feature in the training set, and is its standard deviation. To prevent data leakage, the mean and standard deviation were calculated only from the training set and then applied to the test data.$\mu_j \sigma_j$

In logistic regression, the probability of an attack is calculated using the following function:

$$P_{LR}(y = 1 \mid \mathbf{x}) = \frac{1}{1 + \exp\left[-\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j x_j\right)\right]}$$

A random forest combines the voting of a decision tree into a number:B

$$\hat{y}_{RF} = \mathrm{mode}\{h_1(\mathbf{x}), h_2(\mathbf{x}), \ldots, h_B(\mathbf{x})\}$$

The gradient boosting model sequentially aggregates weak learners to reduce the residuals of previous stages:

$$F_M(\mathbf{x}) = F_0(\mathbf{x}) + \sum_{m=1}^{M} \eta\, f_m(\mathbf{x})$$

Here, is the m-th decision tree, is the learning rate, and is the number of trees. In the experiment, 180 trees, a learning rate of 0.05, and a maximum of 3-level trees were used. The random forest was constructed with 300 trees, and the multilayer perceptron was constructed with two hidden layers of 32 and 16 neurons.$f_m \eta M$

The hybrid model combines the probabilistic outputs of logistic regression and gradient boosting in a weighted manner:

$$P_H(\mathbf{x}) = wP_{LR}(\mathbf{x}) + (1-w)P_{GB}(\mathbf{x})$$

The parameter combination that maximized the F1 score in the validation sample was and . Therefore, the final model has the following form:$w = 0.15\tau = 0.385$

$$P_H(\mathbf{x}) = 0.15P_{LR}(\mathbf{x}) + 0.85P_{GB}(\mathbf{x})$$

$$\hat{y} = \begin{cases} 1, & P_H(\mathbf{x}) \geq 0.385 \\ 0, & P_H(\mathbf{x}) < 0.385 \end{cases}$$

The decision threshold of less than 0.5 is chosen because the cost of letting in attack samples is higher than false positives in a security scenario. This choice was made during the validation phase without considering the test selection.

The confusion matrix consists of four main indicators: true positive (), true negative (), false positive (), and false negative (). Accuracy shows the proportion of all correct classifications:$TPTNFPFN$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Precision shows how many observations marked as attacks actually are attacks:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

Sensitivity refers to what proportion of real attacks are detected:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

The F1 indicator is the harmonic mean of precision and sensitivity:

$$F_1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

ROC-AUC evaluates the ability of the model to distinguish between normal and attack classes at different decision thresholds. Confidence intervals for the hybrid model were calculated using 1,000 bootstrap replicates from the test sample.

4. RESULTS

The highest overall accuracy in the test set was observed for the gradient boosting model, with 83.3%. This model showed 79.3% precision and 89.5% ROC-AUC, but its sensitivity remained at 64.7%. Logistic regression, on the other hand, detected a larger proportion of real attacks with 79.3% sensitivity, but its precision was 65.9%. This result suggests that the two models have different advantages.

Table 3. Comparative results of models in test selection

Model	Accuracy, %	Precision, %	Recall, %	F1-Score, %	ROC-AUC, %
Logistic Regression	80.25	65.91	79.30	71.99	88.09
Random Forest	82.58	75.96	66.67	71.01	88.90
Gradient Boosting	83.29	79.27	64.71	71.25	89.47
Multilayer Perceptron	82.54	78.56	62.50	69.62	88.37
Proposed Hybrid Model	81.50	68.84	77.08	72.73	89.64

The hybrid model achieved the highest F1 and ROC-AUC scores. Although its overall accuracy was lower than gradient boosting, its sensitivity was 12.37 percentage points higher. This represents a slight increase in false positives in exchange for detecting more attacks. In security operations, such a tradeoff must be tailored to the organization's risk appetite and the processing capabilities of the incident response team.

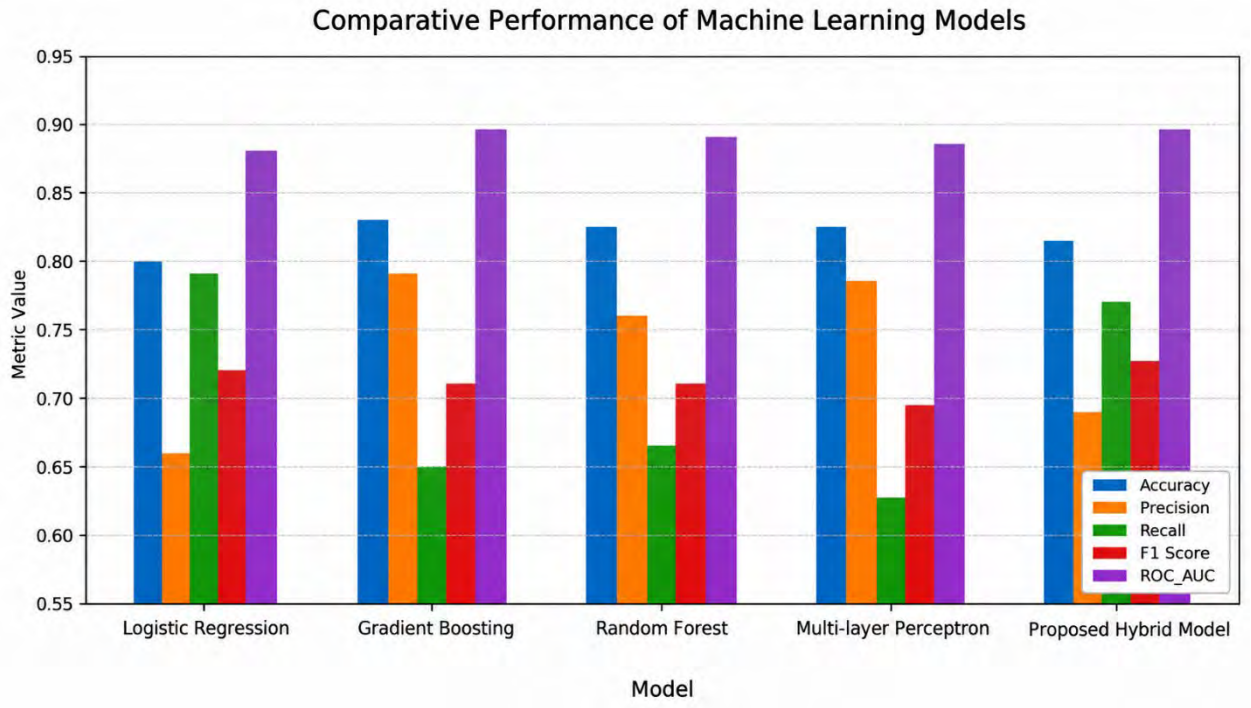


Figure 2. Comparative results of machine learning models

The comparison of ROC curves shows that the hybrid model has a higher ability to distinguish classes over a wide range of decision thresholds. The ROC-AUC of the hybrid model was 0.896, and the gradient boosting index was 0.895. Although the difference is not large, the higher sensitivity of the hybrid model increases its advantage for threat screening.

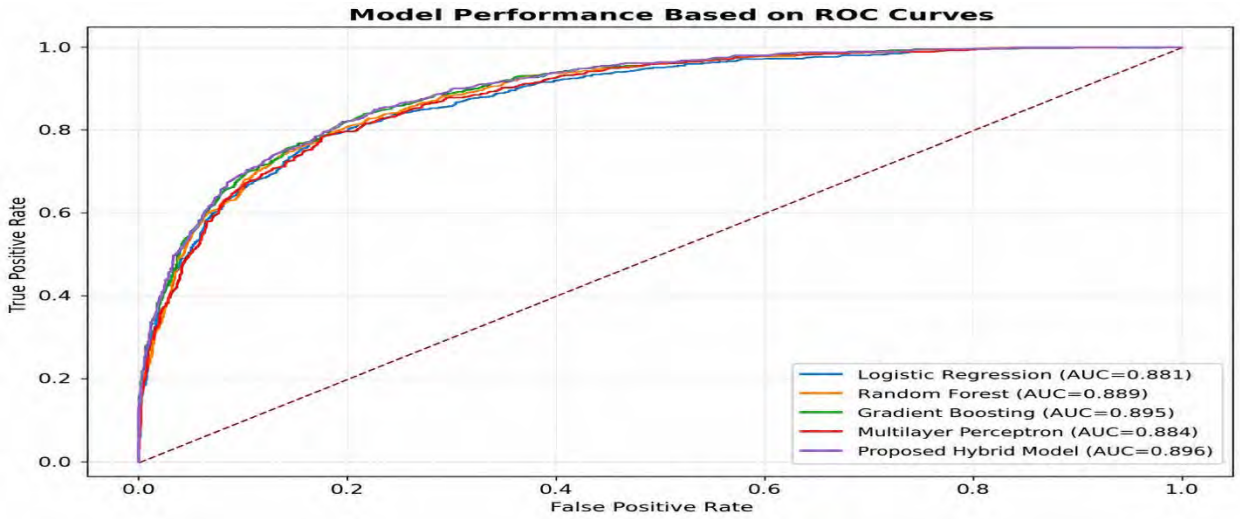


Figure 3. Model performance on ROC curves

The hybrid model correctly classified 1,956 of the 2,400 test observations and incorrectly classified 444. The model detected 592 of the 768 real attacks and missed 176 attacks. Of the 1,632 observations in the normal class, 1,364 were correctly identified and 268 were incorrectly labeled as attacks.

Table 4. Confusion matrix for the hybrid model

Actual Class / Prediction	Normal	Attack	Total
Normal	1,364	268	1,632
Attack	176	592	768
Total	1,540	860	2,400

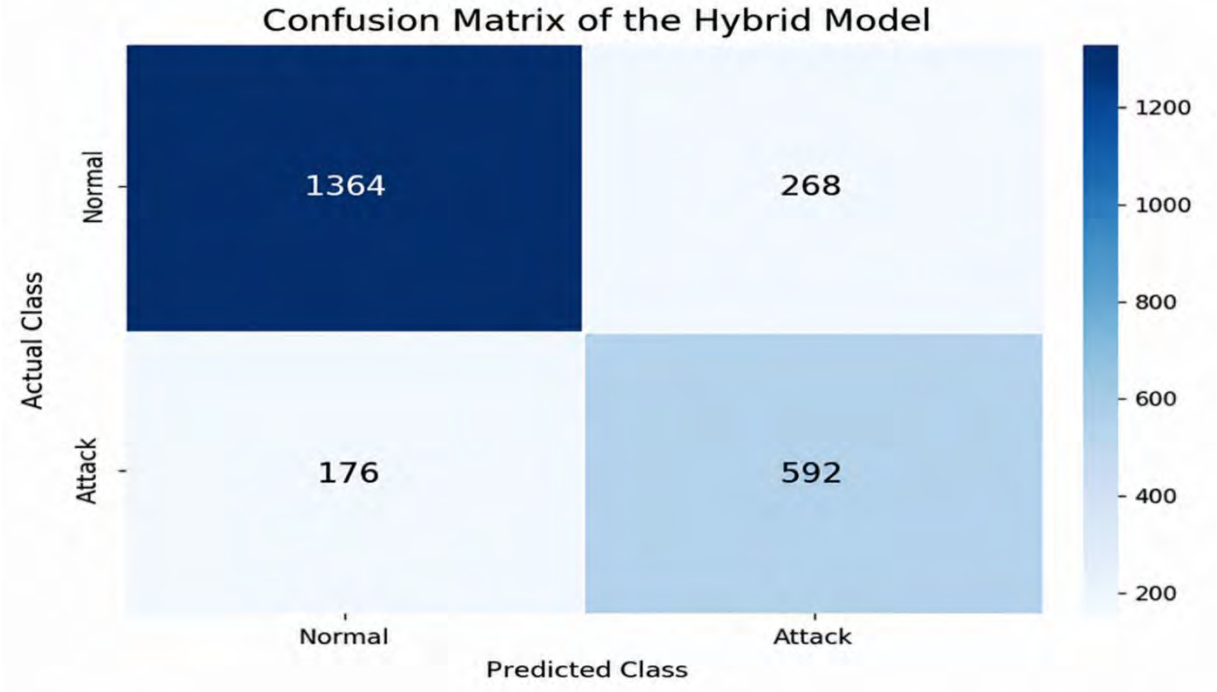


Figure 4. Confusion matrix of the hybrid model

Bootstrap analysis showed that the results of the hybrid model were relatively stable against random test sample variability. The 95% confidence interval for the F1

indicator was 70.16-74.94%, and the interval for the ROC-AUC indicator was 88.26-91.00%.

Table 5. 95% bootstrap confidence intervals of hybrid model indicators

Metric	Point Estimate, %	Lower Bound, %	Upper Bound, %
Accuracy	81.50	79.92	83.13
Precision	68.84	65.63	71.69
Recall	77.08	73.94	80.00
F1 Score	72.73	70.16	74.94
ROC-AUC	89.64	88.26	91.00

The relative importance of the features in the gradient amplification component showed that SYN rate had a share of 37.16%, packet rate 26.20%, and number of failed accesses 10.14%. These three features accounted for about 73.5% of the total importance. RST rate, payload entropy, and inter-flow time had a secondary but still significant effect.

Table 6. The most important network features

No.	Feature	Relative Importance, %
1	SYN ratio	37.16
2	Packet rate	26.20
3	Number of failed login attempts	10.14
4	RST ratio	7.17
5	Payload entropy	6.22
6	Inter-flow time	5.28
7	Number of concurrent connections	2.94

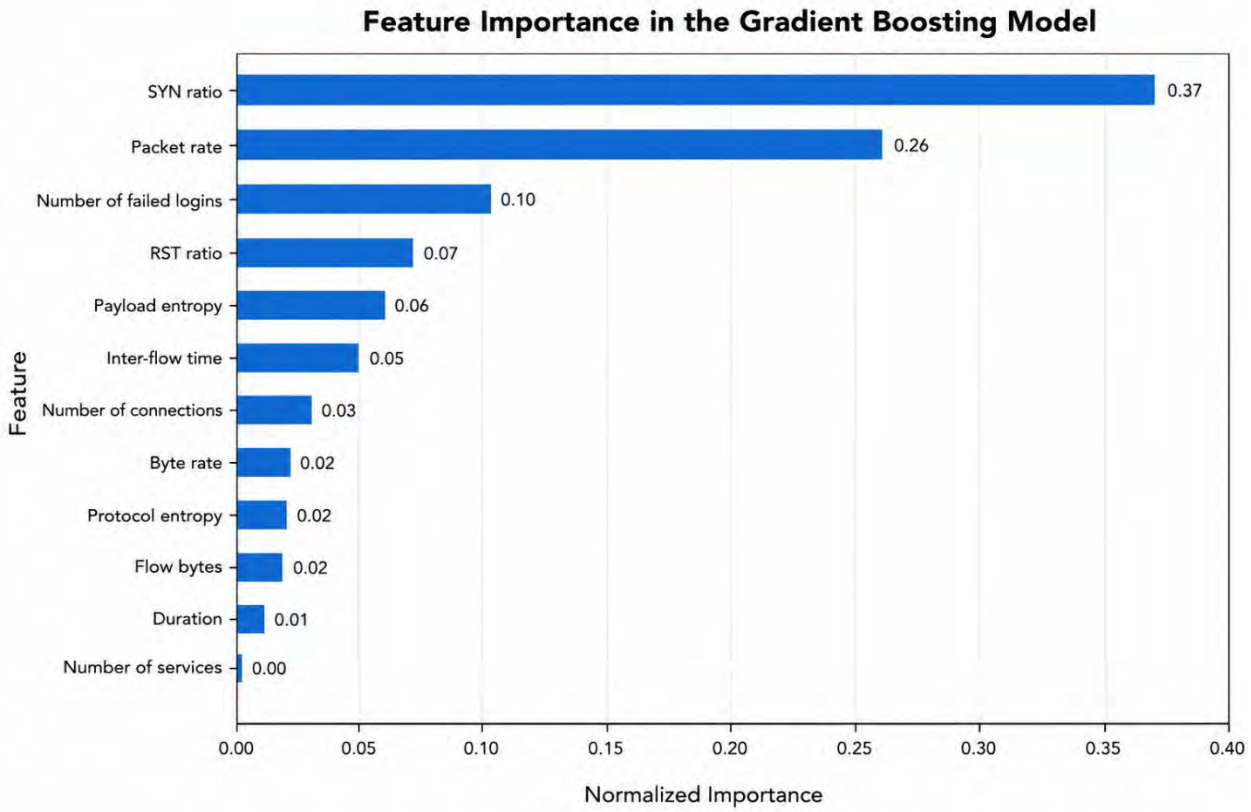


Figure 5. Significance of features in the gradient amplification component

The significance of the feature should not be interpreted as a cause-and-effect relationship. The indicator only indicates which variables the model's decisions benefit from most in the current simulation design. In a real network, additional contextual variables such as service type, protocol, time, device category, and user behavior may also be important.

5. DISCUSSION

The results show that each algorithm has advantages according to different operational objectives. The high sensitivity of logistic regression makes it suitable for initial screening. Gradient boosting is more effective in reducing false signals due to its higher precision and overall accuracy. The hybrid model achieved the most balanced result in terms of F1 and ROC-AUC by combining these two features at the probability level. In the security operations center, the decision threshold is not a fixed technical parameter, but an expression of risk policy. In critical infrastructures and high-value information systems, a low threshold and high sensitivity may be justified because the cost of an attack is high. In resource-constrained environments, however, increasing the threshold may reduce the number of false alarms. Therefore, in the application of the model, the sensitivity-precision tradeoff should be determined based on incident response capabilities, asset criticality, and regulatory requirements.

The proposed approach can be integrated into a zero-trust architecture as an additional layer of behavior-based control. The model can support access decisions or further verification levels by generating risk signals from authentication, device state, and network flow data. However, the model should not become the sole mechanism

for determining user access rights. Identification, authentication, device trust, policy engine, and continuous monitoring should work together, according to NIST SP 800-207 [7].

The security of the model itself should also be considered. Poisoning of training data, intentional modification of input tokens, leakage of model parameters, and extraction of model behavior through queries are real risks [9]. Therefore, during implementation, authentication of data sources, versioning, audit of changes, drift monitoring, adversarial testing, and a fallback plan should be developed. The performance of the AI model should be re-measured after a certain period of time and updated based on data enriched with new attack behaviors.

The main limitation of the study is that the data is synthetic. The simulation demonstrates the mathematical and analytical performance of the model, but does not fully reflect the complex service dependencies, encrypted traffic characteristics, seasonal changes, and user behavior in a real network. In addition, binary classification does not distinguish between types of attacks. In future studies, it is advisable to apply multi-class classification, time series models, concept drift detection, and simulated AI methods on anonymized samples of CICIDS2017, NSL-KDD, and organizational data.

6. CONCLUSION

The study developed a hybrid machine learning model that combines logistic regression and gradient boosting probabilities to detect attack behaviors in network flows. In a controlled experiment with 12,000 synthetic observations, logistic regression showed the highest sensitivity, while gradient boosting showed the highest accuracy and precision. The hybrid model with 0.15/0.85 weights selected through validation combined these advantages and achieved 81.5% accuracy, 77.1% sensitivity, 72.7% F1, and 89.6% ROC-AUC.The results show that it is not correct to consider only the overall accuracy as the main criterion in intrusion detection systems. The operational value of the model is determined by the balance between missed attacks and false alarms. The hybrid approach allows to control this balance parametrically and to adapt the decision threshold to the risk policy of the organization.For practical application, the model should be tested with real-time, up-to-date network data, and continuously monitored for data drift, adversarial interference, and the operational impact of false alarms. The model should not be used as a replacement for human expertise, but as a decision support tool that accelerates and prioritizes the security analyst's decision.

Lıterature

1. Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324
2. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785-794). https://doi.org/10.1145/2939672.2939785
3. Tavallaee, M., Bagheri, E., Lu, W., & Ghorbani, AA (2009). A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set. In 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence

for Security and Defense Applications (pp. 1-6). https://doi.org/10.1109/CISDA.2009.5356528

4. Sharafaldin, I., Lashkari, AH, & Ghorbani, AA (2018). Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization. In Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (pp. 108-116). https://doi.org/10.5220/0006639801080116

5. Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. In 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy (pp. 305-316). https://doi.org/10.1109/SP.2010.25

6. National Institute of Standards and Technology. (2024). The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0 (NIST CSWP 29). https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29

7. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero Trust Architecture (NIST Special Publication 800-207). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207

8. Tabassi, E. (2023). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) (NIST AI 100-1). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1

9. Vassilev, A., Oprea, A., Fordyce, A., Anderson, H., Davies, X., & Hamin, M. (2025). Adversarial Machine Learning: A Taxonomy and Terminology of Attacks and Mitigations (NIST AI 100-2e2025). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-2e2025

10. Friedman, JH (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. The Annals of Statistics, 29(5), 1189-1232. https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

11. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830.

Proceedings of the 5th International Scientific
and Practical Conference
"Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives"
July 20-22, 2026
Montreal, Canada

Organizing committee may notagree with the authors'point of view.
Authors are responsible for the correctness of the papers' text.

Contact details of the organizing committee:
European Open Science Space
E-mail: info@eoss-conf.com
URL: https://www.eoss-conf.com/

EUROPEAN OPEN
SCIENCE SPACE