ISSN: 2336-3630

STŘEDOEVROPSKÝ VĚSTNÍK PRO VĚDU A VÝZKUM

Vol. 2. № 4. 2026



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

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 2. № 4. 2026

Praha, České republika 2026

Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín “**Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum**” je registrován v České republice. Státní registrační číslo u Ministerstva kultury ČR: E 21425. Vol. 2. № 4. 2026. str. 269.

Vydavatel:

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

Editorial Board:

Editor-in-Chief –

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

Deputy Editor-in-Chief –

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

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

Editorial Board Members:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENT

Акулюшина Марина, Дімов Петро, Фролова Антоніна

СТРАТЕГІЧНИЙ РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВА В СУЧАСНИХ ЕКОНОМІЧНИХ УМОВАХ: КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ 6

Habro Iryna, Shevchuk Oleksandr

SECURITY ASPECTS OF CHINA'S PRESENCE ON THE AFRICAN CONTINENT 32

Borysenko Nadiia, Kovner Oleksandr

FORMATION OF DESIGN COMPETENCE IN TECHNOLOGY EDUCATION WITHIN THE COMPETENCY-BASED PARADIGM 51

Чередниченко Тетяна

ОСОБЛИВОСТІ РЕІНТЕГРАЦІЇ ВНУТРІШНЬО ПЕРЕМІЩЕНИХ ОСІБ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ 66

Hoidash Yurii, Teterin Oleh, Protsak Kateryna

DIGITAL COMPETENCIES OF PERSONNEL AS A FACTOR OF ORGANIZATIONAL FLEXIBILITY AND ADAPTABILITY OF THE ENTERPRISE 79

Khoruzhenko Tetiana

PROJECT-BASED TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF CREATIVITY IN FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS 92

Марченко Станіслав

ЛАЗЕРНИЙ ГРАВІЮВАЛЬНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ТА ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ 107

Opaets Mariana, Pecheriaha Svitlana

HEMATOLOGICAL AND COAGULATION CHANGES IN PHYSIOLOGICAL PREGNANCY 123

Овсянко Дмитро, Ананьєва Анастасія

АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ ЯК ОСНОВА ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ 135

Pecheriaha Svitlana, Zelenska Diana

POLYCYSTIC OVARY SYNDROME: DIAGNOSTIC CRITERIA AND TREATMENT METHODS 151

Protsak Kateryna, Hunka Bohdan

WORLD EXPERIENCE OF MANAGING THE RESOURCE PROVISION OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES OF TERRITORIAL COMMUNITIES: ADAPTATION FOR UKRAINE 163

Pylypenko Dmytro

IMPROVING SOFTWARE QUALITY OF THE "ELECTRONIC UNIVERSITY" SYSTEM BASED ON BALANCED TESTING 176

Storozhuk Yuriy

METHODOLOGY FOR CONTINUOUS PERFORMANCE TESTING OF EDUCATIONAL INFORMATION SYSTEMS BASED ON K6 AND DYNAMIC QUALITY GATES 183

Ryzhov Igor, Yashchuk Petro

VITALITY AND VITAL SECURITY: SOCIO-PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF RESILIENCE FORMATION IN CRITICAL LIFE SITUATIONS 196

Русецька Наталя, Демчук Людмила

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ДЛЯ "ЗЕЛЕНИХ" ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ 227

Gavriliuk Inna, Zabrodskyi Ihor

REFLECTION IN THE FORMATION OF THE SELF AND PERSONALITY DEVELOPMENT: A REVIEW OF RECENT STUDIES 244

Shevel Boris, Dederko Dmytro, Samoilenko Oksana, Lakhno Alina, Vyshnevetskyi Volodymyr

PROSPECTS FOR THE USE OF CHATBOTS IN THE FORMATION OF ECONOMIC COMPETENCE OF FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS 256

Акулюшина Марина, к.е.н, доцент, доцент кафедри менеджменту Національного університету «Одеська політехніка», Україна, Одеса, ORSID: https://orcid.org/0000-0003-0230-4019

Дімов Петро, бакалавр кафедри менеджменту Національного університету «Одеська політехніка», Україна, Одеса, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4455-7837

Фролова Антоніна, бакалавр кафедри менеджменту Національного університету «Одеська політехніка», Україна, Одеса, ORSID: https://orcid.org/0009-0005-7369-4810

Akuliushyna Maryna, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management, Odesa Polytechnic National University, Ukraine, Odesa, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0230-4019

Dimov Petro, Bachelor at the Department of Management, Odesa Polytechnic National University, Ukraine, Odesa, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4455-7837

Frolova Antonina, Bachelor at the Department of Management, Odesa Polytechnic National University, Ukraine, Odesa, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7369-4810

СТРАТЕГІЧНИЙ РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВА В СУЧАСНИХ ЕКОНОМІЧНИХ УМОВАХ: КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ

STRATEGIC DEVELOPMENT OF ENTERPRISES IN MODERN ECONOMIC CONDITIONS: KEY FACTORS AND RISK ASSESSMENT

Анотація

Стаття присвячена дослідженню ключових факторів стратегічного розвитку підприємств та оцінці ризиків в умовах сучасної економічної нестабільності. Актуальність теми зумовлена необхідністю адаптації управлінських підходів до зростаючої волатильності зовнішнього середовища, що вимагає від підприємств розробки гнучких стратегій з урахуванням ключових факторів впливу та супутніх ризиків. Метою дослідження є аналіз теоретичних та практичних аспектів стратегічного розвитку підприємств, визначення основних факторів впливу та обґрунтування підходів до оцінювання ризиків у цьому процесі. У статті розглянуто взаємодію внутрішніх та зовнішніх факторів, що формують стратегічну траєкторію розвитку підприємства. Внутрішні фактори включають організаційну структуру, ресурсний потенціал, управлінські можливості та комунікаційну інфраструктуру. Зовнішні фактори охоплюють політичну стабільність, економічну динаміку, технологічний прогрес, конкурентний тиск та регуляторні зміни. Особливу увагу приділено ролі цифрової трансформації у підвищенні адаптивності підприємств. Встановлено, що впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект, аналітика великих даних та автоматизація бізнес-процесів, дозволяє підприємствам гнучко реагувати на коливання ринку та підвищувати ефективність комунікацій. Доведено, що комплексні комунікаційні стратегії, інтегровані з цифровими рішеннями, сприяють підвищенню конкурентоспроможності та формуванню стійких зв'язків із зацікавленими сторонами. Значну увагу приділено методології оцінки ризиків у стратегічному розвитку. Розглянуто якісні методи (SWOT-аналіз, конкурентний аналіз Портера) та кількісні підходи (статистичний аналіз, моделювання сценаріїв, аналіз чутливості). Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих підходів

для вдосконалення систем стратегічного планування та управління ризиками на підприємствах різних галузей. Перспективними напрямами подальших досліджень є вивчення галузевих особливостей стратегічного розвитку, довгострокового впливу цифрової трансформації на організаційну стійкість, а також аналіз ролі корпоративної культури у формуванні адаптивного потенціалу підприємств.

Ключові слова: стратегічний розвиток, підприємство, фактори впливу, оцінка ризиків, економічна нестабільність, цифрова трансформація, конкурентоспроможність.

Abstract

The article is devoted to the study of key factors in the strategic development of enterprises and risk assessment in the context of contemporary economic instability. The relevance of the topic is driven by the need to adapt management approaches to the growing volatility of the external environment, which requires enterprises to develop flexible strategies that account for key influencing factors and associated risks. The aim of the study is to analyze the theoretical and practical aspects of strategic enterprise development, identify the main influencing factors, and substantiate approaches to risk assessment in this process. The article examines the interaction of internal and external factors that shape the strategic development trajectory of an enterprise. Internal factors include organizational structure, resource potential, managerial capabilities, and communication infrastructure. External factors encompass political stability, economic dynamics, technological progress, competitive pressure, and regulatory changes. Special attention is paid to the role of digital transformation in enhancing enterprise adaptability. It is established that the implementation of advanced technologies, such as artificial intelligence, big data analytics, and business process automation, enables enterprises to respond dynamically to

market fluctuations and improve communication efficiency. It is demonstrated that comprehensive communication strategies integrated with digital solutions contribute to increased competitiveness and the formation of sustainable relationships with stakeholders. Considerable attention is devoted to the methodology of risk assessment in strategic development. Both qualitative methods (SWOT analysis, Porter's competitive analysis) and quantitative approaches (statistical analysis, scenario modeling, sensitivity analysis) are examined. The practical significance of the study lies in the possibility of using the proposed approaches to improve strategic planning and risk management systems in enterprises across various industries. Promising directions for further research include the study of sectoral specificities of strategic development, the long-term impact of digital transformation on organizational resilience, and the analysis of the role of corporate culture in shaping the adaptive capacity of enterprises.

Keywords: strategic development, enterprise, influencing factors, risk assessment, economic instability, digital transformation, competitiveness.

Постановка проблеми. Сьогодні українські підприємства працюють у надзвичайно складних та малопередбачуваних умовах. Війна, економічна криза, постійні зміни в законодавстві, міграція кадрів, порушення ланцюгів постачання — це не просто абстрактні ризики, а жорстока реальність, до якої бізнес змушений адаптуватися щодня. Багато компаній опинилися в ситуації, коли старі стратегічні плани перестали працювати, а нові ще не напрацьовані. Керівникам доводиться приймати рішення в умовах хронічної невизначеності, коли завтрашній день передбачити майже неможливо. Проблема в тому, що традиційні підходи до стратегічного розвитку, які вивчають за підручниками, часто не враховують українських реалій. Внутрішні фактори – обмежені ресурси, слабка комунікація між

підрозділами, брак кваліфікованих кадрів – накладаються на зовнішні виклики: нестабільну економіку, постійні зміни правил гри з боку держави, агресивну конкуренцію. І при цьому багато підприємств досі не мають чіткого розуміння, як оцінювати ризики та будувати гнучку стратегію, яка б дозволила не просто виживати, а розвиватися.

Отже, головна проблема – розрив між теоретичними знаннями про стратегічне управління та реальними потребами українського бізнесу. Підприємствам потрібні не загальні поради, а конкретні, адаптовані до наших умов інструменти, які допоможуть враховувати ключові фактори впливу, оцінювати ризики та швидко коригувати свої дії. Без цього говорити про сталий розвиток та конкурентоспроможність в сучасних умовах дуже складно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-методологічні засади стратегічного розвитку підприємств досліджуються у працях вітчизняних науковців. Зокрема, Писаревський, Тищенко та Поколодна [1] розглядають питання ефективного використання виробничих ресурсів та синергії між структурними підрозділами підприємства, що є основою для розробки продуктових, функціональних та ресурсних стратегій. Єгіозар'ян [2] акцентує увагу на ролі внутрішнього середовища, зокрема організаційної структури та управлінських можливостей, у формуванні стійкості підприємства до зовнішніх викликів.

Проблематика економічної нестабільності та її впливу на стратегічне планування висвітлена у дослідженнях, представлених у фахових виданнях [3, 10]. Автори наголошують, що постійна непередбачуваність економічних умов змушує організації застосовувати формалізовані процеси стратегічного планування для прогнозування нових викликів та можливостей.

Гавран, Грибик та Комар [4]досліджують використання цифрових

рішень та клієнтоорієнтованих стратегій як відповідь українських підприємств на посилення економічної турбулентності. Вони відзначають широке впровадження електронних платежів, автоматизованих систем обліку та інструментів моніторингу бізнес-процесів. Данилюк та Забурмеха [5] наголошують на важливості структурної реструктуризації та забезпечення ресурсами для забезпечення гнучкості підприємств, особливо у сфері послуг.

Питання загроз економічній безпеці промислових підприємств розглянуто Лойко [7], який класифікує основні зовнішні ризики, включаючи зростання зовнішнього боргу, неконтрольований відтік іноземної валюти та надмірну залежність від імпортної сировини. Аналіз зовнішнього середовища та його впливу на конкурентоспроможність представлений у роботах [6, 8], де автори досліджують динамічний характер макро- та мікроелементів середовища, їх вплив на ланцюги поставок, попит клієнтів та конкурентну динаміку.

Методологічні підходи до оцінки ризиків у стратегічному розвитку висвітлені у дослідженнях Демочані [11], Штогрин [15] та Чикуркової з Федірець [16]. Автори розглядають якісні методи, зокрема SWOT-аналіз та конкурентний аналіз Портера, а також кількісні інструменти, включаючи статистичний аналіз, моделювання сценаріїв, моделювання Монте-Карло та аналіз чутливості, для ідентифікації та оцінки потенційних загроз. Наголошується на взаємозв'язку цих методів, де якісний аналіз забезпечує контекстуальну основу для застосування кількісних інструментів.

Роль комунікацій у підвищенні конкурентоспроможності досліджується Коблянським [джерело 12], Венгер та Омельчак [13], а також Суровим [14]. Автори акцентують увагу на інтеграції цифрових комунікаційних стратегій, використанні сучасних платформ (Slack, Microsoft Teams, Zoom, Asana), соціальних мереж, а також на застосуванні

штучного інтелекту та аналітики великих даних для забезпечення ефективної взаємодії із зацікавленими сторонами та підтримки адаптивного стратегічного планування.

Вплив результатів оцінки ризиків на коригування фінансової політики та структури капіталу підприємства досліджує Лацік [17]. Автор доводить, що систематичний аналіз ризиків сприяє проактивним змінам фінансової політики, створенню резервів ліквідності та впровадженню динамічних систем управління ризиками. Процес управління ризиками та його основні етапи (виявлення, аналіз, пом'якшення, моніторинг) висвітлено у публікаціях Visure Solutions [18], де також наголошується на використанні передових технологій, зокрема штучного інтелекту та прогностичної аналітики, для передбачення та реагування на динамічні ринкові умови.

Таким чином, аналіз наукових праць свідчить про значний інтерес дослідників до проблем стратегічного розвитку, оцінки ризиків та цифрової трансформації підприємств. Однак комплексний підхід, який би інтегрував внутрішні та зовнішні фактори, методи оцінки ризиків та сучасні комунікаційні стратегії в єдину систему стратегічного управління в умовах економічної нестабільності, залишається недостатньо розробленим, що обумовлює актуальність даного дослідження.

Мета статті. Мета дослідження полягає в аналізі теоретичних та практичних аспектів стратегічного розвитку підприємств, визначенні основних факторів впливу (внутрішніх та зовнішніх) на стратегічну траєкторію розвитку, а також обґрунтуванні комплексних підходів до оцінювання ризиків у цьому процесі з урахуванням викликів сучасної економічної нестабільності та цифрової трансформації.

Виклад основного матеріалу дослідження

У швидкозмінному ландшафті сучасної економіки підприємства постійно стикаються з необхідністю адаптувати свої стратегічні рамки

розвитку в умовах складної взаємодії зовнішніх та внутрішніх факторів. Стратегічна траєкторія підприємства значною мірою залежить від таких змінних зовнішнього середовища, як політична стабільність, економічна нестабільність, технологічний прогрес та конкурентний тиск, які створюють як загрози, так і можливості, що вимагають пильного моніторингу та проактивного реагування. Внутрішні фактори, включаючи організаційну структуру, ресурсні можливості та комунікаційну інфраструктуру, також відіграють вирішальну роль у формуванні стратегічних ініціатив. Зокрема, динамічний характер економічного та політичного середовища України підкреслює важливість розуміння того, як місцеві підприємства долають нестабільність, використовуючи нові можливості. Роль ефективної комунікації постає як ключовий елемент у підвищенні конкурентоспроможності, дозволяючи фірмам сприяти кращій внутрішній координації та взаємодії із зовнішніми зацікавленими сторонами за допомогою передових комунікаційних стратегій та технологій. Водночас оцінка ризиків стала невід'ємною частиною стратегічного планування, надаючи необхідну інформацію для виявлення потенційних загроз, оцінки їхнього впливу та відповідного коригування стратегій розвитку. Ця стаття має на меті дослідити ключові фактори, що впливають на стратегічний розвиток українських підприємств у сучасних умовах, підкреслюючи важливість аналізу зовнішнього середовища, життєво важливу роль комунікації у підтримці конкурентних переваг та впровадження комплексних практик управління ризиками. Розглядаючи ці взаємопов'язані виміри, дослідження прагне сприяти глибшому розумінню того, як сучасні українські підприємства можуть ефективно формулювати та коригувати свої стратегії для процвітання в умовах постійної економічної невизначеності та зовнішніх викликів.

Стратегічний розвиток підприємства формується складною взаємодією внутрішніх та зовнішніх факторів, кожен з яких має окремий, але взаємопов'язаний вплив на траєкторію розвитку організації. Усередині підприємства наявність та ефективне використання виробничих ресурсів, включаючи природні ресурси, основний та оборотний капітал, а також робочу силу, формують основу для розробки надійних продуктових, функціональних та ресурсних стратегій, які тісно пов'язані та разом керують стратегічним напрямком розвитку підприємства [1]. Синергія, досягнута між пов'язаними структурними підрозділами, не тільки підвищує операційну ефективність, але й дозволяє передавати позитивний досвід та спільно використовувати активи, сприяючи зниженню витрат та підвищенню конкурентоспроможності [1].

Тим часом внутрішнє середовище, що охоплює організаційну структуру, управлінські можливості та внутрішні процеси, визначає стійкість підприємства та його здатність використовувати свій стратегічний потенціал, безпосередньо впливаючи на його здатність реагувати на зовнішні виклики [2][1]. Зовні підприємство повинно орієнтуватися в динамічному середовищі, що характеризується зміною ринкової динаміки, зміною інвестиційного клімату, змінами в нормативних актах, технологічним прогресом та ширшим соціально-політичним контекстом [1]. Ці зовнішні фактори диктують інвестиційну привабливість різних сфер бізнесу, спонукаючи підприємства стратегічно розподіляти ресурси та визначати пріоритети інвестицій, які збалансовують диверсифікацію ризиків та стійке зростання доходів [1]. Зрештою, взаємозв'язок між цими сферами підкреслює необхідність для підприємств застосовувати системний підхід — постійно оцінювати та інтегрувати як внутрішні сильні, так і слабкі сторони із зовнішніми можливостями та загрозами — щоб забезпечити адаптивність стратегічного розвитку та його відповідність довгостроковим цілям [1][2].

Проактивне управління та постійна оцінка цих внутрішніх та зовнішніх факторів є важливими втручаннями для забезпечення тривалої конкурентної переваги та організаційної стабільності.

Економічна нестабільність фундаментально змінює контекст, у якому підприємства підходять до стратегічного планування, посилюючи турбулентність та невизначеність навколишнього середовища, тим самим зумовлюючи необхідність нових структур та проактивних інструментів управління. Постійна непередбачуваність економічних умов змушує організації застосовувати формалізовані процеси стратегічного планування, оскільки вони служать основним засобом прогнозування як нових викликів, так і прихованих можливостей [3]. Така волатильність особливо впливає на взаємозв'язок між внутрішнім прийняттям рішень та змінами у зовнішньому середовищі, вимагаючи від організацій постійно переоцінювати та вдосконалювати свої алгоритми планування, інструменти та розподіл ресурсів для підтримки актуальності та стійкості [3]. Ця динаміка змушує вітчизняні підприємства не лише адаптувати свої практики стратегічного управління, але й впроваджувати нові підходи, що відповідають реаліям перехідної ринкової економіки, тим самим забезпечуючи своє виживання та конкурентоспроможність в умовах постійних коливань [3]. В результаті межі між операційною стабільністю, зменшенням ризиків та довгостроковою стратегією зростання стають дедалі більш переплетеними, що змушує підприємства наголошувати на зусиллях зі стабілізації як передумові сталого розвитку. З огляду на ці складнощі, організаціям вкрай важливо пріоритезувати створення та постійне вдосконалення механізмів стратегічного планування, які є гнучкими, заснованими на даних та реагують на мінливі економічні ландшафти.

У відповідь на постійну економічну нестабільність та посилену екологічну турбулентність, українські підприємства все частіше

використовують цифрові рішення та клієнтоорієнтовані стратегії для підвищення своєї конкурентоспроможності та адаптивності [4]. Цей цифровий поворот очевидний не лише у широкому впровадженні електронних платежів, автоматизованих систем обліку та звітності, але й в інтеграції передових інструментів моніторингу та автоматизації бізнес-процесів, які допомагають підприємствам динамічно реагувати на коливання ринку [4]. Взаємозв'язок між цифровою трансформацією та стратегічним управлінням ще більше підкреслюється зростаючим усвідомленням українськими бізнес-лідерами ризиків, пов'язаних з недооцінкою цифрових тенденцій – помилкою, яка історично перешкоджала організаційній стійкості та зростанню [5]. Водночас структурна реструктуризація та забезпечення ресурсами стали життєво важливими для підприємств сфери послуг, забезпечуючи їхню можливість швидко перерозподіляти активи та персонал у відповідь на зміну попиту та зовнішні потрясіння [5]. Ці тенденції підкріплюються ширшим усвідомленням необхідності гнучкості та проактивної позиції щодо зовнішніх змін, оскільки традиційні моделі управління, що покладаються виключно на внутрішні ресурси, виявляються недостатніми в умовах сучасного нестабільного середовища [5]. Оскільки українські компанії інтегрують цифрові інновації зі спільними та сталими практиками, їхній стратегічний розвиток дедалі більше характеризується поєднанням технологічного прогресу, операційної гнучкості та енергійної реакції на соціально-економічні трансформації, що підкреслює нагальну потребу в постійних інвестиціях у цифрову інфраструктуру, підвищення кваліфікації робочої сили та адаптивні системи управління для забезпечення довгострокового успіху в непередбачуваних умовах [4].

Зовнішнє середовище являє собою складний комплекс факторів, які можуть одночасно загрожувати та створювати можливості для підприємств, що вимагає нюансованого та адаптивного підходу до стратегічного

управління. Однією з основних проблем, з якими стикаються підприємства, є динамічний характер як макро-, так і мікроелементів середовища, які можуть швидко змінюватися та впливати на сприятливість ключових мікрофакторів, таких як ланцюги поставок, попит клієнтів та конкурентна динаміка [6]. Основні загрози, що виникають у цьому середовищі, виникають через навмисні або випадкові збої, включаючи зміни в нормативних актах, економічну нестабільність та геополітичну нестабільність, які можуть завдати матеріальної шкоди операційним режимам та загрожувати фінансовій стабільності підприємства [7]. Наприклад, зростання зовнішнього боргу, неконтрольований відтік іноземної валюти та надмірна залежність від імпортної сировини можуть підірвати економічну безпеку, наражати фірми на коливання зовнішнього ринку та руйнувати конкурентоспроможність, тим самим збільшуючи ризик фінансових втрат та дестабілізації [7]. І навпаки, зовнішнє середовище також пропонує можливості, такі як потенціал для внутрішньогалузевої співпраці, яка може підвищити стійкість, стимулювати інновації та сприяти новим напрямкам зростання [6]. Взаємодія між цими загрозами та можливостями підкреслює важливість точного прогнозування та комплексного аналізу, оскільки підприємства повинні передбачати зміни та стратегічно позиціонувати себе, щоб пом'якшити ризики та використовувати нові можливості [6]. Цей взаємозв'язок вимагає проактивної позиції, коли підприємства постійно відстежують зовнішні сигнали, інвестують у адаптивні можливості та займаються сценарним плануванням для забезпечення сталої конкурентоспроможності та стабільності в умовах невизначеності навколишнього середовища.

З огляду на швидкозмінне політичне та економічне середовище, підприємства повинні застосовувати цілісний та системний підхід до адаптації, який охоплює як внутрішні, так і зовнішні сфери. Взаємозв'язок структурних підрозділів у межах підприємства означає, що зусилля з

адаптації не можуть бути ізольованими, а повинні охоплювати всі сфери діяльності, щоб забезпечити організаційну стійкість та економічну безпеку [8]. Оскільки підприємства функціонують як відкриті соціально-економічні системи, вбудовані в цифрове середовище, ефективна адаптація вимагає координації внутрішніх елементів із зовнішніми технологічними, організаційними та економічними викликами [9]. Це особливо важливо, враховуючи, що зміни у зовнішньому середовищі – від регуляторних змін до технологічних збоїв – часто вимагають відповідних коригувань у внутрішніх процесах, управлінській практиці та структурах комунікації. Впроваджуючи системний підхід до управління адаптацією, підприємства можуть структурувати необхідні компоненти та взаємозв'язки, що дозволяє їм гнучко реагувати на кризові явища, зберігаючи при цьому операційну стабільність [9][10]. Крім того, інтеграція адаптивного управління змінами як у поточні, так і в стратегічні процеси планування дозволяє підприємствам передбачати ризики, виявляти нові можливості та своєчасно приймати рішення, що відповідають змінам ринкової динаміки [8]. Щоб залишатися конкурентоспроможними та стійкими, підприємства повинні вийти за рамки ситуативних заходів та впровадити постійну адаптацію у свої системи управління, визнаючи її ключовою здатністю, що лежить в основі довгострокового зростання та стійкості в умовах невизначеності [9][8].

Для ефективного подолання невизначеності, спричинені економічною нестабільністю, підприємства покладаються на різноманітні аналітичні інструменти, призначені для моніторингу та інтерпретації змін у зовнішньому середовищі. Центральним серед них є SWOT-аналіз, який систематично досліджує зовнішні можливості та загрози поряд із внутрішніми сильними та слабкими сторонами, дозволяючи організаціям передбачати та реагувати на ринкові виклики, що змінюються [11].

Доповнюючи це, конкурентний аналіз Портера оцінює вплив ключових зовнішніх суб'єктів, таких як покупці, постачальники, нові учасники, товари-замінники та поточні конкуренти, забезпечуючи структуроване розуміння конкурентних сил, які можуть посилювати або пом'якшувати вплив економічних коливань [11]. Крім того, розробка та аналіз сценаріїв дозволяють організаціям будувати та оцінювати кілька ймовірних майбутніх сценаріїв, враховуючи взаємодію різноманітних зовнішніх факторів та відповідно готуючи адаптивні стратегічні відповіді [11]. Ці інструменти взаємопов'язані, оскільки висновки, отримані з одного, такі як сигнали раннього попередження, виявлені шляхом аналізу слабких та сильних сигналів, можуть інформувати та вдосконалювати застосування інших, зрештою зміцнюючи здатність підприємства управляти ризиками, підтримувати конкурентоспроможність та забезпечувати стійкість у періоди підвищеної зовнішньої волатильності [11]. Таким чином, ефективне розгортання та інтеграція цих інструментів моніторингу є важливими діями, яким підприємства повинні надати пріоритет для підвищення своєї стратегічної гнучкості та забезпечення довгострокової життєздатності в умовах турбулентного економічного середовища.

Комунікація відіграє ключову роль у підвищенні конкурентоспроможності підприємства, слугуючи сполучною тканиною між його внутрішніми можливостями та вимогами зовнішнього ринку. Розробляючи та виконуючи комплексну комунікаційну політику, підприємства можуть розвивати емоційні зв'язки зі своїми цільовими аудиторіями, що не лише сприяє лояльності клієнтів, але й формує стійку конкурентну перевагу [12]. Цей емоційний резонанс досягається завдяки інтеграції різних комунікаційних елементів – від реклами та зв'язків з громадськістю до цифрового контенту та прямої взаємодії – що забезпечує послідовний та переконливий наратив бренду на всіх каналах [12]. Крім

того, ефективна комунікація дозволяє підприємствам швидко реагувати на зміни в економічному середовищі, дозволяючи адаптувати стратегії та повідомлення в режимі реального часу, що допомагає підтримувати актуальність та гнучкість ринку [12]. Взаємозв'язок між внутрішньою комунікацією, такою як платформи обміну знаннями та скоординовані командні зусилля, та зовнішньою комунікацією, такою як управління репутацією та взаємодія з клієнтами, демонструє, що цілісний комунікаційний підхід є важливим для вирішення як операційних, так і стратегічних викликів сучасної конкуренції. Зрештою, для забезпечення та підвищення конкурентоспроможності підприємства повинні інвестувати в адаптивні, інтегровані комунікаційні стратегії, які не лише створюють позитивний імідж, але й будують довіру та інтерактивні стосунки з усіма зацікавленими сторонами, забезпечуючи стійкість та довгостроковий успіх на динамічному ринку [12].

Щоб скористатися стратегічними перевагами, отриманими завдяки внутрішній синергії, українські підприємства повинні впроваджувати комунікаційні стратегії, які є багатогранними та адаптованими до їхнього унікального ринкового середовища. Вибір та інтеграція каналів комунікації відіграють ключову роль, оскільки кожен засіб – від прес-релізів та висвітлення в ЗМІ до цифрових платформ та соціальних мереж – пропонує свій власний набір переваг та обмежень залежно від потреб організації та наявних ресурсів [13]. Комплексний підхід передбачає не лише використання різноманітних каналів, таких як розсилки, конференції, семінари, рекламні матеріали, веб-сайти та воронки продажів, але й використання маркетингу в соціальних мережах (SMM) для забезпечення широкого та цільового охоплення [13]. Це різноманіття у використанні каналів має бути підкріплене ретельним аналізом цільової аудиторії, що дозволить підприємствам узгодити свої комунікаційні зусилля з

уподобаннями та поведінкою аудиторії для досягнення максимального ефекту [13]. Крім того, ці тактики повинні бути узгоджені із загальним планом зв'язків з громадськістю, забезпечуючи послідовне поширення повідомлень, що покращує позиції компанії на друкованих, радіо та цифрових платформах [13]. Зрештою, для того, щоб українські підприємства підтримували конкурентну перевагу та ефективно реагували на динамічні зовнішні умови, вкрай важливо постійно аналізувати, адаптувати та оптимізувати свої комунікаційні стратегії у взаємопов’язаних сферах, тим самим сприяючи активній взаємодії із зацікавленими сторонами та сталому зростанню організації.

У відповідь на посилення турбулентності та нестабільності у зовнішньому середовищі, організації все частіше звертаються до передових технологій для посилення як внутрішньої, так і зовнішньої комунікації, тим самим підтримуючи більш стійке та адаптивне стратегічне планування. Такі платформи, як Slack, Microsoft Teams, Zoom та Asana, сприяють безперебійній співпраці та обміну інформацією між співробітниками, дозволяючи організаціям підтримувати операційну ефективність та гнучкість прийняття рішень навіть у періоди збоїв [14]. Зовні соціальні мережі та платформи обміну миттєвими повідомленнями революціонізували взаємодію з клієнтами, забезпечуючи прямі канали взаємодії в режимі реального часу, які дозволяють компаніям оперативно відповідати на запити клієнтів та підтримувати позитивну присутність бренду незалежно від волатильності ринку [14]. Ці комунікаційні технології додатково доповнюються інтеграцією штучного інтелекту та аналітики великих даних, які дозволяють організаціям прогнозувати потреби споживачів, персоналізувати маркетингові підходи та вдосконалювати бізнес-стратегії для більшої ефективності та оперативності реагування [14]. Взаємопов'язане розгортання цих технологій забезпечує ефективний потік інформації між організаційними

кордонами, що дозволяє проактивно реагувати на зовнішні потрясіння та підвищує як координацію співробітників, так і задоволеність клієнтів. Зі зростанням темпів економічних змін для організацій стає вкрай важливим інвестувати в свою комунікаційну інфраструктуру та постійно її оновлювати, використовуючи синергію між платформами для співпраці, аналітичними даними на основі штучного інтелекту та інструментами цифрової взаємодії для підтримки ефективного стратегічного планування та збереження конкурентоспроможності.

Комплексний підхід до ідентифікації та оцінки ризиків у стратегічному розвитку вимагає інтеграції різноманітних методологій, що враховують як якісні, так і кількісні виміри ризику. Якісні методи, такі як SWOT-аналіз, відіграють важливу роль у виявленні потенційних загроз у внутрішньому та зовнішньому середовищі організації, дозволяючи особам, які приймають стратегічні рішення, класифікувати ризики за їхньою природою, ймовірністю та потенційним впливом [15]. Паралельно, кількісні методи, включаючи статистичний аналіз, побудову сценаріїв, моделювання Монте-Карло та аналіз чутливості, дозволяють організаціям кількісно оцінювати ймовірність та фінансові наслідки ризикових подій, тим самим підтримуючи пріоритезацію ризиків та розподіл ресурсів на основі даних [15]. Ці методології нерозривно взаємопов'язані: якісний аналіз часто забезпечує контекстуальну основу, необхідну для застосування кількісних інструментів, тоді як останні пропонують точні показники для підтримки суджень, зроблених під час якісних оцінок [16]. Крім того, впровадження передових аналітичних інструментів, таких як моделювання сценаріїв та аналіз ймовірності ризику, не тільки посилює ідентифікацію ризиків, але й забезпечує більш надійну оцінку, враховуючи широкий спектр можливих результатів та пов'язаних з ними ймовірностей [15]. Синергетичне використання цих методів має вирішальне значення для вбудовування

управління ризиками в ширший процес стратегічного розвитку, що зрештою призводить до більш стійких організаційних стратегій та прийняття обґрунтованих рішень. Акцент на регулярному застосуванні та інтеграції цих методів оцінки ризиків є важливим для організацій, щоб проактивно адаптуватися до невизначеностей та підтримувати сталий розвиток.

Результати оцінки ризиків відіграють вирішальну роль у формуванні та коригуванні стратегії підприємства, безпосередньо впливаючи на взаємопов'язані сфери, такі як фінансова політика, структура капіталу, операційна стійкість та управлінські інновації. Коли підприємства систематично аналізують ризики, отримані дані часто призводять до проактивних змін фінансової політики, що робить її краще підготовленою не лише до реагування на зовнішні потрясіння, але й до передбачення та пом'якшення майбутніх невизначеностей [17]. Такий підхід, що враховує ризики, дозволяє організаціям перекалібрувати свою структуру капіталу, наприклад, шляхом збільшення ролі власного капіталу в періоди підвищеної невизначеності, тим самим забезпечуючи більшу фінансову стабільність та зменшуючи вразливість до ризиків, пов'язаних з боргами [17]. Крім того, постійна оцінка ризиків заохочує впровадження управлінських інновацій та превентивних фінансових рішень, таких як створення резервів ліквідності та динамічних систем управління ризиками, які не тільки захищають фінансове здоров'я підприємства, але й сприяють довгостроковій стійкості та адаптивності на волатильних ринках [17]. Взаємозв'язок цих сфер підкреслює важливість інтеграції результатів оцінки ризиків у процеси прийняття стратегічних рішень, забезпечуючи, щоб підприємства залишалися гнучкими, стійкими та конкурентоспроможними. Тому для організацій вкрай важливо створити надійні механізми зворотного зв'язку та постійно оновлювати свої стратегічні рамки у відповідь на виявлені ризики,

тим самим зміцнюючи свою здатність процвітати в умовах постійно мінливих ринкових та екологічних викликів.

У відповідь на посилення економічної нестабільності сучасні підприємства повинні запроваджувати надійні практики управління ризиками, які є одночасно проактивними та комплексними, забезпечуючи їхню здатність долати невизначеність та досягати сталого успіху. Використання структурованої системи управління ризиками дозволяє організаціям систематично виявляти, аналізувати та пом'якшувати потенційні загрози, тим самим захищаючи свої фінансові ресурси, операційну стабільність та загальну репутацію [18]. Такий структурований підхід не тільки важливий для управління непередбачуваністю сучасного бізнес-ландшафту, але й сприяє покращенню прийняття рішень, надаючи чіткіше розуміння ризиків, що виникають, та дозволяючи своєчасне втручання [18]. Інтеграція найкращих практик, таких як раннє виявлення ризиків, постійний моніторинг та використання передових інструментів, сприяє проактивній позиції, дозволяючи компаніям вирішувати проблеми до їх загострення та узгоджувати зусилля щодо пом'якшення ризиків із ширшими цілями організації [18]. Крім того, впровадження інноваційних технологій, таких як штучний інтелект, прогнозна аналітика та моніторинг у режимі реального часу, ще більше дає підприємствам змогу передбачати та реагувати на динамічні ринкові умови, посилюючи взаємозалежність між стратегічним плануванням та управлінням ризиками [18]. З огляду на мінливість зовнішнього середовища, вкрай важливо, щоб організації постійно вдосконалювали свої процеси управління ризиками та інвестували в передові рішення, тим самим створюючи стійку основу для довгострокового зростання та стабільності.

Висновки. Результати цього дослідження підкреслюють складну взаємодію між внутрішніми та зовнішніми факторами, які формують

стратегічний розвиток підприємств у сучасних економічних умовах. Дослідження підкреслює критичну важливість управління внутрішніми ресурсами, організаційної структури та управлінських можливостей у створенні стійкої основи, здатної реагувати на зовнішні виклики. Акцент на синергії між структурними підрозділами та ефективному використанні ресурсів узгоджується з існуючою літературою щодо стратегічної інтеграції та операційної ефективності, підкріплюючи уявлення про те, що внутрішня узгодженість значною мірою сприяє конкурентній перевазі. Одночасно дослідження підтверджує, що динаміка зовнішнього середовища, така як коливання ринку, зміни в регулюванні, геополітична напруженість та технологічний прогрес, вимагає систематичного та гнучкого підходу до стратегічного планування. Застосування сценарного аналізу, SWOT-аналізу та інших інструментів моніторингу демонструє, що проактивне управління ризиками та прогнозування є незамінними для подолання невизначеності, особливо в умовах економічної нестабільності. Примітно, що дослідження показує, що цифрова трансформація слугує вирішальним фактором організаційної гнучкості, дозволяючи підприємствам швидко реагувати на зовнішні потрясіння завдяки автоматизації, аналітиці даних у режимі реального часу та вдосконаленим каналам зв'язку. Однак, незважаючи на ці висновки, дослідження має певні обмеження, включаючи потенційні упередження у виборі тематичних досліджень та швидко розвивається характер цифрових технологій, що може вплинути на узагальнюваність результатів з часом. Подальші дослідження можуть охопити поздовжній аналіз, щоб краще зрозуміти довгостроковий вплив цифрової трансформації та стратегій управління ризиками, а також роль організаційної культури у сприянні адаптивності. Крім того, подальше дослідження специфічних для сектору викликів та можливостей поглибить розуміння того, як різні галузі можуть адаптувати ці стратегічні підходи. Загалом, це дослідження вносить

цінні знання у сферу стратегічного управління, підкреслюючи, що комплексний, заснований на даних та адаптивний підхід, що інтегрує внутрішні сильні сторони із зовнішніми можливостями, є важливим для підприємств, які прагнуть підтримувати конкурентоспроможність та стабільність у дедалі більш нестабільному глобальному середовищі.

Література

1. Писаревський І., Тищенко О., Поколодна М. Стратегічне управління підприємством. Харків: ХНАМГ, 2009. URL: https://eprints.kname.edu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

2. Єгіозар'ян А. Стратегічний розвиток підприємства в умовах нестабільного зовнішнього середовища. *Економіка та управління підприємствами.* URL: http://a-economics.com.ua/index.php/home/article/view/38 (дата звернення: 15.04.2026).

3. Вплив економічної нестабільності на стратегічне планування підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 3. С. 174–178. URL: https://journals.khnu.km.ua (дата звернення: 15.04.2026).

4. Гавран В., Грибик І., Комар Ю. Цифровізація як фактор підвищення конкурентоспроможності підприємств в умовах економічної нестабільності. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка».* 2024. № 425. С. 179–189. URL: https://science.lpnu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

5. Данилюк О., Забурмеха Є. Структурна реструктуризація підприємств сфери послуг в умовах економічних викликів. *Transformations in the Economy*. 2023. URL: https://www.transformations.in.ua/index.php/journal/article/view/177 (дата звернення: 15.04.2026).

6. Аналіз зовнішнього середовища підприємства: методи та інструменти. *Інвестиції: практика та досвід*. 2015. № 2. С. 8–12. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/2_2015/8.pdf (дата звернення: 15.04.2026).

7. Лойко В.В. Загрози економічній безпеці промислового підприємства: сутність та класифікація. *Ефективна економіка*. 2015. № 10. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4372 (дата звернення: 15.04.2026).

8. Міщук Є.В. Управління процесами адаптації підприємств до зовнішнього середовища: новітні тенденції. Агросвіт. 2015. № 6. С. 11–15. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2015/11.pdf (дата звернення: 14.04.2026).

9. Щербина Є.В. Теоретико-методологічні засади управління адаптацією підприємств в умовах цифрової економіки. *Бізнес Інформ*. 2025. № 12. С. 491–499. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-12-491-499 (дата звернення: 12.04.2026).

10. Стратегічне планування в умовах турбулентності: сучасні підходи. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 2. С. 172–174. URL: https://journals.khnu.km.ua (дата звернення: 10.04.2026).

11. Демочані О. Види та інструменти контролінгової діяльності підприємства. Актуальні проблеми економіки та фінансів. 2023. URL: https://afj.org.ua (дата звернення: 15.04.2026).

12. Коблянський Р.М. Комунікаційна політика підприємства як фактор підвищення конкурентоспроможності. *Вісник Західноукраїнського національного університету.* 2022. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

13. Венгер О., Омельчак Д. Інтегровані комунікаційні стратегії в умовах цифрової трансформації. Збірник наукових праць. 2021. С. 373–378. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

14. Суровий В. Цифрові комунікаційні технології в стратегічному управлінні підприємством. *Економічний простір*. 2023. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

15. Штогрин О.А. Методи оцінки ризиків у стратегічному розвитку підприємства. Науковий вісник. 2024. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (дата звернення: 15.04.2026).

16. Чикуркова А., Федірець О. Кількісні та якісні методи оцінки ризиків в управлінні підприємством. *Вісник Крок університету*. 2024. URL: https://snku.krok.edu.ua (дата звернення: 16.04.2026).

17. Лацік Т. Коригування фінансової політики підприємства на основі результатів оцінки ризиків. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Інноваційні стратегії та моделі економічного розвитку*». 2025. С. 49–50. URL: https://elartu.tntu.edu.ua (дата звернення: 17.04.2026).

18. Процес управління ризиками: 5 основних кроків. Visure Solutions. URL: https://visuresolutions.com (дата звернення: 17.04.2026).

References

1. Pysarevskyi, I., Tyshchenko, O., & Pokolodna, M. (2009). Stratehichne upravlinnia pidpryiemstvom [Strategic management of the enterprise]. Kharkiv: KhNAMU. URL: https://eprints.kname.edu.ua (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

2. Yehoziarian, A. (n.d.). Stratehichnyi rozvytok pidpryiemstva v umovakh nestabilnoho zovnishnoho seredovyshcha [Strategic development of the enterprise in an unstable external environment]. Ekonomika ta upravlinnia pidpryiemstvamy. URL: http://a-economics.com.ua/index.php/home/article/view/38 (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

3. Vplyv ekonomichnoi nestabilnosti na stratehichne planuvannia pidpryiemstv [The impact of economic instability on strategic planning of

enterprises]. (2020). Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 3, 174-178. URL: https://journals.khnu.km.ua (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

4. Havran, V., Hrybyk, I., & Komar, Yu. (2024). Tsyfrovizatsiia yak faktor pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpryiemstv v umovakh ekonomichnoi nestabilnosti [Digitalization as a factor of increasing enterprise competitiveness in conditions of economic instability]. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 425, 179-189. URL: https://science.lpnu.ua (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

5. Danyliuk, O., & Zaburmekha, Ye. (2023). Strukturna restrukturyzatsiia pidpryiemstv sfery posluh v umovakh ekonomichnykh vyklykiv [Structural restructuring of service enterprises in the context of economic challenges]. Transformations in the Economy. URL: https://www.transformations.in.ua/index.php/journal/article/view/177 (accessed: 12.04.2026). (in Ukrainian)

6. Analiz zovnishnoho seredovyshcha pidpryiemstva: metody ta instrumenty [Analysis of the external environment of the enterprise: methods and tools]. (2015). Investytsii: praktyka ta dosvid, 2, 8-12. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/2_2015/8.pdf (accessed: 14.04.2026). (in Ukrainian)

7. Loiko, V.V. (2015). Zahrozy ekonomichnii bezpetsi promyslovoho pidpryiemstva: sutnist ta klasyfikatsiia [Threats to the economic security of an industrial enterprise: essence and classification]. Efektyvna ekonomika, 10. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4372 (accessed: 10.04.2026). (in Ukrainian)

8. Mishchuk, Ye.V. (2015). Upravlinnia protsesamy adaptatsii pidpryiemstv do zovnishnoho seredovyshcha: novitni tendentsii [Managing the adaptation processes of enterprises to the external environment: the latest trends]. Ahrosvit, 6,

11-15. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2015/11.pdf (accessed: 12.04.2026). (in Ukrainian)

9. Shcherbyna, Ye.V. (2025). Teoretyko-metodolohichni zasady upravlinnia adaptatsiieiu pidpryiemstv v umovakh tsyfrovoi ekonomiky [Theoretical and methodological principles of managing enterprise adaptation in the digital economy]. Biznes Inform, 12, 491-499. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-12-491-499 (in Ukrainian)

10. Stratehichne planuvannia v umovakh turbulentnosti: suchasni pidkhody [Strategic planning in conditions of turbulence: modern approaches]. (2021). Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 2, 172-174. URL: https://journals.khnu.km.ua (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

11. Demochani, O. (2023). Vydy ta instrumenty kontrolinhovoi diialnosti pidpryiemstva [Types and tools of controlling activities of the enterprise]. Aktualni problemy ekonomiky ta finansiv. URL: https://afj.org.ua (accessed: 12.04.2026). (in Ukrainian)

12. Koblianskyi, R.M. (2022). Komunikatsiina polityka pidpryiemstva yak faktor pidvyshchennia konkurentospromozhnosti [Communication policy of the enterprise as a factor of increasing competitiveness]. Visnyk Zakhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (accessed: 16.04.2026). (in Ukrainian)

13. Venher, O., & Omelchak, D. (2021). Intehrovani komunikatsiini stratehii v umovakh tsyfrovoi transformatsii [Integrated communication strategies in the context of digital transformation]. Zbirnyk naukovykh prats, 373-378. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (accessed: 15.04.2026). (in Ukrainian)

14. Surovyi, V. (2023). Tsyfrovi komunikatsiini tekhnolohii v stratehichnomu upravlinni pidpryiemstvom [Digital communication technologies in strategic enterprise management]. Ekonomichnyi prostir* URL: https://dspace.wunu.edu.ua (accessed: 17.04.2026). (in Ukrainian)

15. Shtohryn, O.A. (2024). Metody otsinky ryzykiv u stratehichnomu rozvytku pidpryiemstva [Risk assessment methods in the strategic development of the enterprise]. Naukovyi visnyk. URL: https://dspace.wunu.edu.ua (accessed: 17.04.2026). (in Ukrainian)

16. Chykurkova, A., & Fedirets, O. (2024). Kilkisni ta yakisni metody otsinky ryzykiv v upravlinni pidpryiemstvom [Quantitative and qualitative methods of risk assessment in enterprise management]. Visnyk Krok universytetu. URL: https://snku.krok.edu.ua (accessed: 17.04.2026). (in Ukrainian)

17. Latsik, T. (2025). Koryhuvannia finansovoi polityky pidpryiemstva na osnovi rezultativ otsinky ryzykiv [Adjustment of the enterprise's financial policy based on risk assessment results]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Innovatsiini stratehii ta modeli ekonomichnoho rozvytku", 49-50. URL: https://elartu.tntu.edu.ua (accessed: 17.04.2026). (in Ukrainian)

18. Protses upravlinnia ryzykamy: 5 osnovnykh krokiv [The risk management process: 5 main steps]. (n.d.). Visure Solutions. URL: https://visuresolutions.com (accessed: 17.04.2026). (in Ukrainian)

Habro Iryna, Ph.D. in Political Science, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-8215-7615

Shevchuk Oleksandr, a doctor in Political Science, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-0335-6873

SECURITY ASPECTS OF CHINA'S PRESENCE ON THE AFRICAN CONTINENT

Abstract

Article analyzes the security aspects of China’s growing presence in Africa amid shifting global power dynamics. It explores how Beijing integrates economic engagement, military cooperation, arms transfers, peacekeeping activities, and digital technologies into a coherent strategy aimed at protecting its overseas interests and expanding geopolitical influence. Particular attention is paid to China’s military base in Djibouti, defense-industrial cooperation, professional military education, and cybersecurity initiatives promoted through frameworks such as FOCAC, the Belt and Road Initiative, and the Global Security Initiative. Using regional and country case studies, the article demonstrates how China’s security involvement varies across Africa. It argues that while Chinese engagement offers opportunities for infrastructure development and capacity-building, it also raises concerns related to political dependence, digital surveillance, and the strengthening of authoritarian governance. Overall, China’s security footprint in Africa represents a systemic transformation with significant implications for regional stability and global governance.

Keywords: China, Africa, military cooperation, arms export, digital security, FOCAC, Global Security Initiative (GSI), People's Liberation Army, cyber surveillance.

Introduction

In the 21st century, Africa has become an arena of global geopolitical rivalry, where China is increasingly building economic, military, and technological influence. Given the declining influence of traditional Western actors and the deepening crisis of global governance, analyzing China's presence on the continent is crucial to understanding new formats of interaction between the Global South and new geopolitical centers.

Africa is of immense economic, political, and security significance for China. Beijing's economic interests include Africa's natural resources, access to markets for investment and exports, and the global expansion of Chinese business. In this context, its relations with South Africa are important, as it is one of China's largest economic partners in Africa. China also has four main political interests on the continent: improving its image and strengthening China's influence, isolating Taiwan to promote the «One China» policy, ensuring the stability of its economic partners, and opposing international norms that China considers problematic. China's controversial political involvement in Sudan and South Sudan is particularly important. Finally, China's political and economic interests define its security interests as «protecting developments in the economic sphere and increasing political influence».

Today, a significant number of scholars and analysts consider in their works the specifics of China's military and security involvement in Africa. Considerable attention is paid to military aspects and arms transfers**.** SIPRI reports (Wezeman, 2024; Trends in International Arms Transfers, 2025) and A. Arduino (Arduino, 2024) note the steady growth in Chinese arms supplies to Africa and their strategic importance in the context of competition with Russia and the United States. In parallel, scholars examine forms of military cooperation**,** including African officer training, joint exercises, and the creation of security infrastructure (Nantulya, 2022; Njeru, 2021).

Another group of studies (Diallo & Descamps, 2024; Jash, 2025; Krukowska, 2024) focuses on geopolitical dimensions - the influence of the Global Security Initiative and China's use of narrative diplomacy to shape a favorable image in African countries (Cissé & Pihl, 2025). These works highlight the combination of "soft" and "hard" power, where military presence is reinforced by economic projects and cultural diplomacy.

A number of works (Melese, 2022; Rossiter & Cannon, 2022) explore regional specifics, particularly in Djibouti and the Horn of Africa, which are key for controlling maritime routes. Researchers emphasize that Chinese military bases in strategic African locations serve both defensive and power-projection functions.

Thus, the modern academic literature records a shift from episodic security contacts to a systematic and multi-vector security presence strategy of the PRC on the African continent. However, despite the substantial volume of research, questions remain insufficiently explored regarding the long-term implications of such a presence for regional stability and the response of African societies to China's expanding military role.

Research methods

The methodological foundation of the study is based on the core principles of scientific inquiry: objectivity, systematicity, multifactorial analysis, and determinism. Methods of system and structural analysis were employed to organize relevant scientific information and to explore the core concepts of the research. The use of a systems approach enabled a theoretical synthesis of scholarly perspectives related to the topic of information hygiene. Additionally, general scientific methods - such as analysis and synthesis, induction and deduction - were applied throughout the study.

Using content analysis, a systematic study of official documents, political statements, and initiatives of China (in particular, the Global Security Initiative, FOCAC) and those of African governments was conducted. Particular attention

was paid to the transformation of the PRC's foreign policy rhetoric. Comparative analysis was used to compare China's role with other leading arms suppliers to African countries (Russia, the USA, France) over different time periods.

Quantitative analysis and statistical methods were applied to analyze the dynamics of Chinese arms exports to Africa, the scale of military cooperation, and digital penetration. The case study method allowed to study the experience of specific African countries (Kenya, Senegal, Zambia, Djibouti, Uganda), which demonstrate different models of interaction with China – from military-strategic cooperation to the implementation of Chinese digital control technologies. This made it possible to identify the specifics of influence in various political and economic contexts.

China has expanded its security and defense relations with many states at the multilateral and bilateral levels. The establishment of the country's first overseas naval base in Djibouti demonstrates China's willingness to enhance its regional power projection capabilities. China's presence in Africa has various consequences for the region. Its strategic involvement creates certain opportunities and challenges for the continent. While flexible Chinese loans, trade financing, and inexpensive industrial goods are of great value to African countries, local labor and factories are suffering from Chinese commercial expansion. China's support for African regimes that violate human rights has also drawn criticism from the West (Abid, Fatima & Safdar, 2023).

China's military strategy in Africa aligns with its broader objective of achieving «the great rejuvenation of the Chinese nation by 2049». As part of this vision, the People's Liberation Army (PLA) is expected to evolve into a "world-class force" by 2030, equipped with the combat and power projection capabilities necessary to safeguard China's expanding global interests and prevail in future conflicts near its own waters. While some African states justify China's growing military presence as a means of strengthening defense capacities, others caution

that the continent must manage such partnerships carefully to avoid being drawn into the very geostrategic rivalries that African governments publicly seek to steer clear of.

In 2000, China initiated the Forum on China-Africa Cooperation (FOCAC), a triennial ministerial conference or summit that brought together China and those African countries that adhered to the one-China policy, for a structured dialogue on a range of policy areas; this range has hitherto broadened significantly. Although this seemingly multilateral regional diplomacy platform has served mainly as a tool for China to make bilateral relations more efficient rather than to strike multilateral deals, it has enhanced considerably China's visibility as a provider of alternative norms for global governance and has had a strong pull effect on African countries that still had diplomatic ties with Taiwan (Grieger and Graphs, 2019).

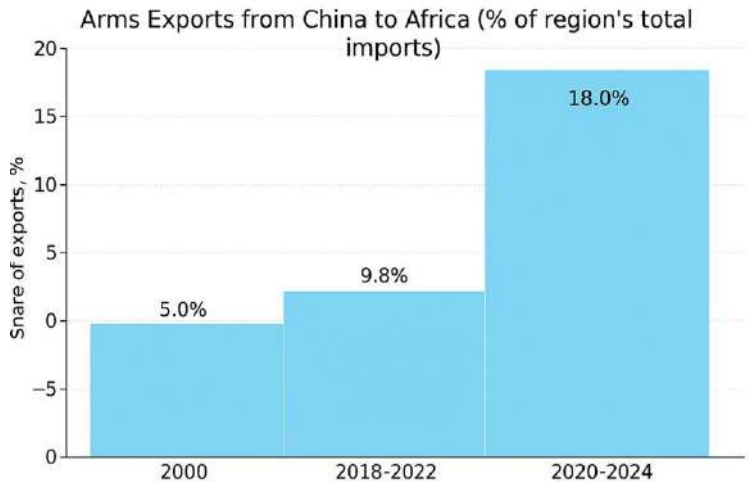
Back then, in 2000, China had less than 5 percent of Africa's arms stocks, hosted fewer than 200 African officers in its military schools, and conducted no military exercises in Africa. Today, China trains approximately 2,000 African officers annually and has become the leading arms supplier to the continent. Approximately 70 percent of African countries now use Chinese armored vehicles.

According to the Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI) Arms Transfers Database, China is now the leading arms supplier to sub-Saharan Africa, accounting for 19 percent (2019-2023) of imports from the region. Between 2018 and 2022, Russia and the United States were the leading arms suppliers to Africa, accounting for 40% and 16% of major arms imports to the continent, respectively. China ranked third with 9.8%, followed by France with 7.6%. Despite this, sub-Saharan African countries received significant Chinese arms shipments between 2019 and 2023, driven by a combination of competitive prices for Chinese military equipment and ample financing opportunities, which allowed China to gradually overtake Russia's traditionally dominant role and

expand its presence in arms sales (Trends in international arms transfers, March 2025). By 2020–2024, the main arms suppliers to Africa were Russia (accounting for 21% of Africa's major arms imports), China (18%), and the USA (16%) (Arduino, 2024).

In French-speaking Africa, sanctions against Russia and the rise of anti-French sentiment have opened a gap in the security market that Beijing is seeking to fill.

The following diagram, which shows the growth of China's share of arms exports to Africa across different periods, clearly demonstrates how China has significantly increased its presence.



Compiled by the authors

China's joint exercises with African forces, 20 of which have been held since 2006, have grown in scale and complexity in recent years, as evidenced by the land and naval exercises of Tanzania, China, and Mozambique in August 2024, and the joint exercises of the Chinese and Egyptian air forces in May 2025. These were the largest deployments of Chinese land, naval, and air forces in Africa in history, respectively (Nantulya, 2025a).

Mozambique, Namibia, the Seychelles, Tanzania, Zambia, and Zimbabwe

receive more than 90 percent of their weapons from China. In 2024, Namibia became the first foreign country to purchase the Shaanxi Y-9E medium military transport aircraft.

China is also expanding its military ties with non-traditional partners such as Senegal and Kenya. In this manner, in 2006 (a year after the resumption of the China-Senegal partnership), Senegal joined FOCAC, opening the door for Senegalese officers to enroll in Chinese staff colleges. In 2009, then-President of China Hu Jintao visited Senegal and announced a multi-year package of aid and grants, including $49 million in additional funding for military education and training, as well as a range of equipment for the police and gendarmerie.

From 2018 to 2024, Senegal co-chaired FOCAC. During this period its military cooperation with China became as regular as with China's more prominent defense partners such as Egypt, Tanzania, and Nigeria. In 2023, China North Industries Group Corporation Limited (NORINCO), a major Chinese defense firm, opened a regional office in Dakar, its fourth in Africa after Angola, Nigeria, and South Africa. NORINCO used this presence in the country to strengthen its role as a regular supplier to Senegal's security sector and expand its operations in the Sahel, where it increased its supplies to Burkina Faso, Mali, and Niger.

A turning point in the Kenya-China relations came in the 1990s, when then-President of Kenya Daniel arap Moi, seeking external support to maintain his rule, turned to China. China responded by sponsoring intensive exchanges between the CCP and the Kenya African National Union between 1992 and 1995. These exchanges paved the way for meetings at the level of the Minister of Defense and the Chief of Military Commands in Nairobi and Beijing in 1996 and 1997, respectively (Nantulya, 2025a).

Kenyan officers began studying at Chinese military academies and staff colleges in 1999. By 2001, Chinese security assistance included annual

scholarships for Kenyan officers, sales of military equipment, joint exercises, peacekeeping, and support for Kenyan officer training institutions. This later expanded to police cooperation, as is the case in over two dozen African countries (Njeru, 2021).

By 2018, Kenya had begun allowing Chinese law enforcement agencies to conduct joint operations on Kenyan territory (mostly targeting Chinese and Taiwanese nationals). In July 2021, China and Kenya launched a program to train 400 Kenyan security personnel in China annually, including elite units of the Presidential Guard, the Criminal Investigation Department, and the General Service Unit. In addition to systematic cross-party exchanges, China's security assistance programs in Kenya were also implemented alongside a major scholarship initiative for students, professionals, and government officials, as well as one of Africa's largest portfolios of Chinese-funded infrastructure projects.

In 2022 when the Mwalimu Julius Nyerere Leadership School was opened in Kibaha, Tanzania. This was China's first overseas ideological school built with a $40-million grant from the CCP International Liaison Department, which also deployed instructors. It is owned by the six liberation parties in power in Angola, Mozambique, Namibia, South Africa, Tanzania, and Zimbabwe, and trains their cadres in party strengthening, political mobilization, and leadership among other topics.

The CCP also cultivates countries that do not share its revolutionary legacy. At least 50 African countries of different ideological stripes participate regularly in Chinese PME. By 2019, Botswana had educated over 500 officers thanks to 43 annual training slots provided by the PLA since 2007. Cabo Verde, Liberia, Mali, and Senegal each send 10 participants to China annually, while Côte d'Ivoire sends 50, on par with countries like Namibia and Tanzania. Sierra Leone sends 30 (Nantulya, 2023).

The creation of the Algeria-China Governance Capacity-Building Forum in

2015 brought together Algeria's Interior Ministry and China's Academy of Governance. Between 2015 and 2018 alone, it trained four hundred Algerian civil servants and public security officials to implement local government reforms, including within Algeria's national police force. Algeria's ruling National Liberation Front party has consistently ranked in the top five of the six hundred political parties with which the CCP maintains «fraternal exchanges» (Rolland, 2022a).

The binational commission between China and South Africa has a legislative counterpart - a regional exchange mechanism established by South Africa's National Assembly and China's National People's Congress. Within this framework, members of South Africa's parliamentary police committee regularly visit Chinese police academies and stations to study their operational environment, while Chinese officials undertake reciprocal visits. Records of parliamentary hearings reveal a notable admiration among ANC legislators for China's policing system - particularly its use of technology, organizational discipline, and emphasis on education and training.

South Africa's Police Strategic Plan 2020–2025 reflects significant influence from Chinese models, especially in approaches to community policing. Yet, parliamentary debates underscore a clear recognition that the two nations' political systems differ fundamentally - particularly regarding the separation of powers, oversight mechanisms, and human rights protections, which remain central to South Africa's governance. Across the political spectrum, lawmakers attribute South Africa's persistent crime problem to inadequate professionalism, weak education, and limited tactical capability within the South African Police Service (SAPS). Many ANC members see China's example as a potential remedy for these weaknesses.

For China, cultivating this relationship serves a strategic purpose: leveraging its ties with the ANC to ensure that South Africa's security priorities

also safeguard Chinese interests. This agenda aligns well with South Africa's role as the largest recipient of Chinese FDI in Africa and with the ANC's desire to be perceived as a trusted ally of the Chinese Communist Party. Additional pressure comes from South Africa's well-organized Chinese diaspora, which maintains close contacts with parliament, police institutions, and the ANC.

In 2014, Chinese language instruction was added to South Africa's national school curriculum, and in 2015 the initiative was extended to police training - starting with the Directorate for Priority Crime Investigation (the Hawks) and later expanding to other SAPS divisions by 2017. By 2020, SAPS units across the country were participating in these programs, which are funded and coordinated by China's Ministry of Public Security, the Chinese embassy, Confucius Institutes, and various Chinese community associations (Rolland, 2022b).

African openness to Chinese political and security practices is increasingly evident through the rise of joint security operations involving Chinese and African law-enforcement agencies. In January 2022, a highly coordinated operation between Chinese and Ugandan police commandos resulted in the capture and deportation of four individuals designated by China as terrorists. The mission received direct approval from Presidents Yoweri Museveni and Xi Jinping, underscoring the depth of bilateral security cooperation. A decade earlier, in January 2012, former Chinese military and law-enforcement personnel employed by a private Chinese security company collaborated with the Sudanese army to rescue 29 Chinese oil workers kidnapped in South Kordofan - another example of China's willingness to act decisively to protect its citizens and assets abroad.

Since 2016, China has provided extensive training for Uganda's police forces, particularly in the directorates of crime intelligence, criminal investigations, and forensics (Nankinga, 2017). Additionally, China has been instrumental in constructing Uganda's wireless police surveillance network and internal government communication systems. In 2018, following a surge in

robberies targeting Chinese industrial sites, Uganda deployed troops to safeguard Chinese-owned facilities — a move ordered soon after 121 Chinese business leaders met with President Museveni to express security concerns. The following year, the two countries formalized their ties by declaring a «comprehensive strategic partnership».

In July 2025, Somali security officials completed law enforcement, internal, and border security training in China under the GSI, making them the latest in a growing list of African law enforcement personnel that have received training under the GSI label. These trainings borrow heavily from those conducted under the CCAM's Lancang and Mekong River Integrated Law Enforcement and Security Center (Nantulya, 2025b).

In another revealing episode, in 2019, a Chinese national of Uyghur origin reported to a French newspaper that he had been interrogated in Cairo by three Chinese agents, suggesting the presence of Chinese security operatives in Africa conducting extraterritorial actions. More broadly, this case highlights the expanding international legal influence of China's public security institutions. By 2021, a total of thirteen African countries had signed extradition treaties with China - a sharp increase from just one in 2018. Between 1997 and 2022, Egypt and Morocco were among 27 Muslim-majority states that extradited ethnic Uyghurs to China in coordination with Chinese security services. In total, 1,546 extraditions were recorded across the Middle East and North Africa during this period, underscoring that a growing number of African states have become unsafe havens for individuals wanted under Chinese law.

On the diplomatic front, African governments have consistently supported Beijing's counterterrorism policies in Xinjiang. Many of them regularly send ambassadors stationed in Beijing on fact-finding missions to the region, during which they often commend China's "poverty alleviation" efforts (Liu, 2021). Between 2020 and 2021, African members of the UN Human Rights Council

formed majority coalitions that repeatedly blocked Western-sponsored resolutions condemning China's human rights record. Similarly, during a July 2, 2019 session, African states joined a 53-member coalition that rejected a resolution backed by 27 mostly Western countries criticizing China's national security law in Hong Kong.

This diplomatic alignment demonstrates that African representatives are increasingly promoting and defending Chinese national security norms within international institutions - often in open defiance of Western criticism.

African governments welcome China's security cooperation for various reasons. For many, China is a source of affordable arms with less stringent export controls and more flexible lending terms compared to Western suppliers. Some see China as a means to strengthen regime security. Others seek closer security ties with China as part of a hedging strategy (Nantulya, 2025a).

China is gradually taking on a more assertive role in African security, moving from a norm-accepting to a norm-setting approach. This shift aligns with President Xi Jinping's broader goal of increasing China's global influence and promoting an alternative model of governance. On August 1, 2017, China officially opened its first overseas military base with a flag-raising ceremony in Djibouti in the Horn of Africa, on the same day as the People's Liberation Army celebrated its 90th anniversary. And since its establishment, the base has expanded from a "logistics center" intended to handle rotational deployments to a large logistics base with a special naval pier capable of hosting China's largest navy vessels sailing in blue waters, and a deployed special operations unit of the Chinese Marine Corps capable of supporting combat missions.

The Chinese military base in Djibouti performs a number of functions. Djibouti is strategically situated on Africa's eastern coast, at the crossroads of maritime routes to Europe and the Middle East, giving it significant geostrategic importance. The country has signed a military cooperation agreement with China,

which includes small arms training and high-level bilateral engagement, with both nations maintaining military attachés. By diversifying its political and economic partnerships, Djibouti has been able to exert some leverage in its dealings with China.

China, in turn, actively invests in the country's infrastructure, including the Addis Ababa–Djibouti railway and the Dorale multi-purpose port. The Dorale port, operated by China Merchants Group and located near U.S., French, and Japanese military bases, allows the Chinese navy not only to replenish supplies but also to conduct troop training and equipment testing under unique operational conditions.

China established its military base in Djibouti to protect its economic interests. China needs Africa's natural resources. The PRC's economic growth is based on access to natural resources in other regions. The Horn of Africa is one of the strategically important parts of Africa. In recent years, huge reserves of hydrocarbon resources have been discovered in Ethiopia and Somalia. Natural resources in the maritime areas of Somalia include oil and gas reserves. Somalia's offshore oil reserves are estimated to be around 110 billion barrels. The oil resources would make Somalia the seventh largest reserve in the world. In addition, Somalia has nearly 440 trillion cubic feet of offshore gas, making it the fourth largest gas reserve in the world.

Like Somalia, Ethiopia has vast hydrocarbon resources in various parts of the country. For example, Ethiopia has huge reserves of gas and oil in the Ogaden Basin. Netherland Sewell and Associates, an energy consulting firm based in the United States, confirmed that the volume of reserves is seven trillion cubic feet. This is a huge amount of hydrocarbon resources discovered in the Ogaden region of Ethiopia. Oil was discovered in the area around Hilala (Rossiter & Cannon, 2022).

In the 21st century, information and communication technologies (ICT)

have become a critical factor in economic development. Africa has a significant technological gap that cannot be bridged without assistance from developed economies. Cooperation between the PRC and African countries in the ICT sector is carried out within the framework of the Digital Silk Road (DSR), a component of the BRI that helps less developed countries improve telecommunications networks, artificial intelligence, cloud computing, surveillance capabilities, and the construction of cross-border and transcontinental fiber-optic networks, and undersea cables.

In its document «Plan of Actions on Jointly Building a China-Africa Community with a Shared Future in Cyberspace (2025-2026)», the Chinese government notes that: «China stands ready to strengthen cooperation with African countries in cybersecurity emergency response. We support and encourage CNCERT to reach out to more African CERTs for joint handling of cross-border incidents, experience sharing, and signing of cooperation documents. China is ready to invite African partners to attend World Internet Conference events, CNCERT International Partnership Conference and other activities to further enhance mutual trust through dialogue and exchanges. China is willing to conduct exchanges and cooperation with Africa in data security and cross-border data flows to jointly address related risks and challenges and promote secure and orderly cross-border flows of data» (Plan of Actions).

Conclusions

China’s presence in Africa today goes far beyond traditional economic partnerships. It is transforming into a comprehensive model of strategic influence that encompasses trade, investment, defense, cybersecurity, and digital technologies. Beijing uses both soft power (education, loans, technical assistance) and hard tools (weapons, military bases, cyber surveillance), enabling it to impose its own rules of the game on the continent.

The PRC’s military presence in Africa is significant. Africa hosts the largest

deployed PLA forces operating beyond China's periphery. PLA troops are deployed in Djibouti, participate in United Nations peacekeeping missions, and conduct counter-piracy operations in the Gulf of Aden. The PRC chairs multilateral forums such as FOCAC and the China-Africa Peace and Security Forum, expands influence over African military leaders through a long-established professional military education program, and increases arms sales to African countries as Russian sales to the continent decline.

All this poses new challenges for African countries, including the risks of losing digital sovereignty, increased political repression, and economic dependence. At the same time, new opportunities for infrastructure development, security, and technological modernization are opening up. The dilemma for Africa is to balance the benefits of cooperation with the preservation of national sovereignty, human rights, and democratic institutions.

Moreover, China's growing influence in Africa is reshaping the regional security landscape and redefining global power balances. By combining economic incentives, military engagement, and digital technologies, Beijing establishes a comprehensive footprint that challenges the traditional dominance of Western powers. African states face the complex task of navigating between competing external actors while safeguarding their strategic autonomy.

In the long term, the sustainability of China-Africa cooperation will depend on how African governments manage these relations. Careful policy planning is required to ensure that engagement with China does not exacerbate political centralization, undermine transparency, or compromise democratic governance. At the same time, Chinese investments in infrastructure, defense, and technology can contribute positively to regional development if aligned with national priorities and robust regulatory frameworks.

China's engagement in Africa's security landscape serves to advance its strategic economic and political objectives by ensuring access to the continent's

mineral resources and consumer markets, while simultaneously reinforcing its influence within international organizations—an outcome that consolidates China's status as a major global power.

References

1. Abid F., Fatima H. & Safdar A. (2023) 'China's Strategic Involvement in Africa and its Regional Implications (1949–2022)', *NUST Journal of International Peace and Stability*. Available at: https://doi.org/10.37540/njips.vi.137 (accessed 10 February 2026).

2. Arduino, A. (2024) 'China's Expanding Security Footprint in Africa: From Arms Transfers to Military Cooperation', *ISPI (Istituto per gli Studi di Politica Nazionale),* 30 September. Available at: https://www.ispionline.it/en/publication/chinas-expanding-security-footprint-in-africa-from-arms-transfers-to-military-cooperation-184841 (accessed 10 February 2026).

3. China-Africa Cooperation: Beijing's vision raises free expression concerns (2024), *Article 19*, 03 October. Available at: https://www.article19.org/resources/china-africa-cooperation-beijings-vision-raises-free-expression-concerns/ (accessed: 10 January 2026).

4. Devermont J. (2020) 'China's Strategic Aims in Africa', Statement before the U.S.–China Economic and Security Review Commission, 8 May. Available at: https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-12/Chapter_1_Section_3--Chinas_Strategic_Aims_in_Africa.pdf (accessed: 10 January 2026).

5. Diallo F. & Descamps M. (2024) 'China's Security Engagement with Africa & The "Global South" Narrative', *The EuroHub4Sino Project*, 21 October. Available at: https://eh4s.eu/publication/chinas-security-engagement-with-africa-the-global-south-narrative (accessed: 10 February 2026).

6. Eisenman J. & Shinn D.G. (2023) *China's Relations with Africa: A New Era of Strategic Engagement*. New York, NY: Columbia University Press.

7. Grieger G. & Graphs E.C. (2019) 'China's growing role as a security actor in Africa', *European Parliamentary Research Service*, October. Available at: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642232/EPRS_BRI(2019)642232_EN.pdf (Accessed: 20 January 2026).

8. George M., Djokic K., Hussain Z., Wezeman P.D. & Wezeman S.T. (2025) *SIPRI Report*, Stockholm: SIPRI. Available at: https://doi.org/10.55163/XXSZ9056 (accessed: 10 February 2026).

9. Krukowska M.M. (2024) 'China's security relations with Africa in the 21st century', *Security and Defence Quarterly*, 46(2). Available at: https://doi.org/10.35467/sdq/190066 (accessed: 10 February 2026).

10. Liu X. (2021) 'African Envoys Defend China on Xinjiang, Say "No Visit, No Say"', *Global Times*, 6 July. Available at: https://www.globaltimes.cn/page/202107/1227994.shtml (accessed: 10 February 2026).

11. Melese A.A. (2022) 'The Chinese and American Military Installations in Djibouti: National and Regional Security Implications', *China Quarterly of International Strategic Studies*, 8(03–04), pp. 243–262. Available at: https://doi.org/10.1142/S2377740022500130 (accessed: 10 February 2026).

12. Nankinga M. (2017) 'China to Train Uganda Police in Criminal Investigations', *Uganda Police Force*, 20 December. Available at: https://www.upf.go.ug/china-train-uganda-police-criminal-investigations (accessed: 10 February 2026).

13. Nantulya P. (2020) 'Chinese Security Contractors in Africa', *Carnegie Endowment for International Peace*, 8 October. Available at: https://carnegieendowment.org/2020/10/08/chinese-security-contractors-in-africa-pub-82916 (accessed: 10 February 2026).

14. Nantulya P. (2023) ‘China’s “Military Political Work” and Professional Military Education in Africa’, *Africa Center for Strategic Studies*, 30 October. Available at: https://africacenter.org/spotlight/china-pla-military-political-work-pme-africa/ (accessed: 20 December 2025).

15. Nantulya P. (2025a) ‘China Widening Its Influence in Africa through Expanded Security Engagements’, *Africa Center for Strategic Studies*, 10 June. Available at: https://africacenter.org/spotlight/china-influence-africa-security-engagements/ (accessed: 10 February 2026).

16. Nantulya P. (2025b) ‘Africa as a Testing Ground for China’s Global Security Initiative’, *Africa Center*, 4 August. Available at: https://africacenter.org/spotlight/africa-china-global-security-initiative/ (accessed: 12 January 2026).

17. Njeru G. (2021) ‘Kenyan police seek to increase number of officers receiving training in China’, *Beijing Review*, 7 May. Available at: https://www.bjreview.com/World/202107/t20210705_800252181.html (accessed: 1 February 2026).

18. Rossiter A. & Cannon J.B. (2022) ‘Patterns of External Involvement in the Modern History of the Horn of Africa States’, in *The Gulf States and the Horn of Africa: Interest, Influence and Instability*, Manchester: Manchester University Press, pp. 15–35.

19. Zhixiong S. (2018) ‘On China’s Military Diplomacy in Africa’, in *China and Africa: Building Peace and Security Cooperation on the Continent*, Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan, pp. 101–122.

20. Rolland N. (ed.) (2022a) *Political Front Lines: China’s Pursuit of Influence in Africa*, The National Bureau of Asian Research, June, p. 44.

21. Rolland, N. (ed.) (2022b) *Political Front Lines: China’s Pursuit of Influence in Africa*, The National Bureau of Asian Research, June, p. 45.

22. Plan of Actions on Jointly Building a China-Africa Community with a Shared Future in Cyberspace (2025–2026). Available at: https://www.cac.gov.cn/2025-09/28/c_1760606713169654.htm (accessed: 10 February 2026).

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

Kovner Oleksandr Viktorovych, 1st-year master's student of the subject specialty 014.10 «Secondary Education (Technologies)» of the Faculty of Technological and Professional Education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine

FORMATION OF DESIGN COMPETENCE IN TECHNOLOGY EDUCATION WITHIN THE COMPETENCY-BASED PARADIGM

Abstract

The article addresses the issue of forming design competence of students within the framework of modern technological education. The relevance of the study is the transformation of the educational paradigm towards a competence-based approach, which emphasizes not only knowledge acquisition but also the development of practical skills, creativity, and the ability to apply knowledge in real-life situations. In this context, special attention is paid to the role of technology lessons as an effective environment for the development of students' creative potential and project thinking.

The purpose of the article is to substantiate theoretical foundations and identify effective methods and pedagogical conditions for the formation of design competence in students. Design competence is considered as an integrative personal characteristic that combines creative, technological, analytical, and project-oriented skills necessary for the development of functional and aesthetically valuable products.

The study highlights that project-based learning plays a key role in the formation of design competence. It enables students to go through all stages of product creation, from idea generation to implementation and presentation. Particular attention is given to such methods as morphological analysis, functional-cost design, stylistic adaptation, and project modeling, which ensure the integration of theoretical knowledge with practical activity.

The article also emphasizes the importance of developing soft skills, including creativity, critical thinking, decision-making, planning, and presentation skills, which are essential for successful professional realization in modern society. It is noted that the formation of design competence contributes to students' professional self-determination, increases their motivation for learning, and prepares them for the demands of the labor market.

Furthermore, the role of the teacher is defined as crucial in creating a supportive educational environment, selecting appropriate teaching methods, and guiding students through the process of creative project activity. The necessity of combining theoretical knowledge with practical tasks and using modern digital tools is also substantiated.

The findings confirm that the formation of design competence is a complex and multifaceted process that requires systematic implementation of innovative teaching methods and integration of interdisciplinary knowledge.

Keywords: design competence, technology education, project-based learning, creativity, soft skills, competence approach, design methods, technological education, decorative and applied arts.

Problem statement

Contemporary dynamic changes in the social and economic spheres necessitate the modernization of approaches to the quality of education. Within the framework of a learner-centered educational paradigm, particular attention is paid

to creating conditions for the full realization of each learner's internal potential, their self-determination, and continuous self-development.

The competency-based paradigm directs the educational process toward the acquisition by students of a set of abilities necessary for future life, learning, and professional orientation. Unlike the traditional model focused on the reproductive assimilation of knowledge, this approach emphasizes the development of readiness for practical action and the creative application of experience in non-standard situations. In this context, the position of N. Nahorna is relevant, as she argues that the priority is not merely an individual's awareness, but their ability to effectively solve emerging problems [5]. Such a shift in emphasis enables the teacher to transform their role from a transmitter of information into an organizer of the educational process. Furthermore, we share the view of V. Khymynets regarding the effectiveness of this model, as it ensures that graduates meet the demands of a dynamic labor market and facilitates their rapid social and professional adaptation [9].

We also support the position of D. Kudrenko concerning the implementation of the competency-based approach in the educational process. The researcher rightly notes that this approach transforms the training of learners by shifting the focus from the mere accumulation of knowledge to the development of the ability to act in real-life conditions, make effective decisions, and master modern technologies. According to this perspective, the competency-based paradigm becomes the foundation that enables education to become truly practice-oriented, encouraging learners to adopt an active social position and engage in continuous self-development [2].

Analysis of recent research and publications

The issue of competence formation in the educational space is currently highly relevant and is reflected in numerous scientific studies, particularly in the works of such scholars as N. Bibik, L. Vashchenko, I. Ziaziun, V. Kremen, O.

Pometun, O. Semenoh, S. Sysoieva, and others. The problem of forming competence in the field of design and technological education has been investigated by O. Boichuk, V. Danylenko, V. Zaporozhchenko, S. Milchevych, L. Orshanskyi, O. Fursa, and other researchers.

A significant contribution to the development of project technologies, particularly the project method, has been made by foreign scholars such as S. Haines, J. Dewey, D. Reinhard, T. Hutchinson, W. Kilpatrick, and M. Knoll. The issue of applying project-technological activities in labor training and technology lessons has been extensively covered in numerous scientific works by Ukrainian researchers. In particular, the general principles of design and the methodology of using the project method in lessons have been examined in the works of T. Antoniuk, V. Bondar, N. Borysenko, O. Kyrychuk, M. Kobernyk, H. Kondratiuk, V. Kurok, N. Matiash, Zh. Toshchenko, Ye. Polat, V. Sydorenko, S. Tkachuk, T. Khoruzhenko, and others.

Purpose of the article

The purpose of the article is to provide a theoretical substantiation and to identify effective approaches and methods for the formation of design competence in students during technology lessons in specialized secondary education institutions.

Presentation of the main material of the study

The formation of design competence in technology lessons is an important component of modern technological education, as it contributes to the development of learners' creative potential, project thinking, and practical skills. Within the competency-based approach, such lessons go beyond purely technical training and acquire the character of integrated activity that combines aesthetic, functional, and technological aspects of product creation.

Design competence is defined as the ability to create original and aesthetically appealing design solutions using a variety of tools, techniques, and

approaches, as well as the ability to understand and effectively perform tasks related to project activities in the field of design. It is an essential component of professional training in many fields, particularly in art and design, and can be purposefully developed in the learning process, especially in technology lessons [4].

The importance of developing design competence lies in its capacity to enable students not only to reproduce existing models but also to independently design new objects, taking into account user needs, ergonomic requirements, environmental factors, and current design trends. In this process, such personal qualities as creativity, critical thinking, decision-making ability, planning skills, and the ability to present the results of one's work are developed. These belong to soft skills that ensure effective social interaction, self-realization, and professional mobility [7].

Technology lessons create favorable conditions for the implementation of a design approach through project-technological activities, which involve all stages of product creation – from the initial concept to the final product. It is in this process that students gain experience in working with form, color, and materials, and master the fundamentals of composition and color theory, which form the basis of design competence.

Moreover, the development of design competence contributes to students' professional self-determination, as it enables them to try themselves in various types of creative and project-based activities. This increases motivation for learning and prepares young people for the challenges of the modern labor market, where innovation, flexibility of thinking, and the ability to generate new ideas are highly valued.

An undisputed leader in the formation of design competence is the project method, introduced in the first half of the twentieth century by the American philosopher J. Dewey. This method involves learning through experience, taking

into account learners' active personal interest in acquiring knowledge that will be useful in their future lives. According to M. Tymchenko, the advantage of the project method lies in the active development of essential skills required for professional realization, including the ability to plan one's work with effective use of large amounts of information; to analyze, synthesize, and generalize knowledge necessary to transform an idea into a final product (object); to make constructive decisions in a team regarding modifications of individual elements and correction of design errors; as well as to present one's own project and provide a balanced and meaningful evaluation of one's activity [8].

The final product of students' design activity in technology lessons should be functional items that combine compositional integrity, ergonomic feasibility, and aesthetic expressiveness. However, such activity is not limited to the creation of objects; it is part of broader socio-cultural processes and largely depends on the individual qualities of the student – their talent, inclinations, and worldview. Therefore, from the stage of specialized secondary education, it is necessary to form in learners a holistic worldview that serves as an internal instrument of aesthetic control. Such a system of views and principles enables individuals to critically evaluate and adjust each stage of the design process – from initial sketches to the detailed development of the final product [10].

The role of the technology teacher in developing students' design competence lies in creating favorable conditions for the development of their creative and technical abilities in the field of design. The teacher must possess a sufficient level of professional knowledge and practical experience, as well as the ability to apply a variety of methods and approaches that facilitate the formation of relevant competencies. An important aspect of the technology teacher's activity is the clear definition and justification of learning objectives and tasks, taking into account students' level of preparation and the current demands of the labor

market. Equally significant is the selection of effective teaching methods and tools that ensure the development of both creative and technical skills.

Particular attention is paid to the planning of the educational process. The teacher must carefully prepare for lessons, design their structure, and organize students' activities, including supervising the implementation of creative projects and monitoring the stages of their realization. In the learning process, it is also important to foster a creative personality capable of self-expression, analysis, critical thinking, and the search for new ideas.

The effective development of students' design competence involves the integration of theoretical and practical instruction. The teacher determines the sequence of learning, taking into account students' age, individual, and social characteristics, and prioritizes practical activities that contribute to the development of real design and project skills.

An essential component of the educational process aimed at developing design competence is also the creation of an assessment system that enables a comprehensive evaluation of the level of competence formation in both theoretical and practical dimensions.

The effective development of design competence in students of specialized education involves the use of a set of methods, among which a significant place is occupied by mastering visualization tools, studying proportions, color theory, and graphic elements, as well as acquiring the basic principles of design.

According to the views of I. Yurchenko, the central place in design is occupied by the method of form generation. It is based on a system of design categories, including idea, image, function, ergonomics, aesthetics, and morphology (material, construction, technology). This approach allows transforming an initial concept into a concrete form that is not only original but also meets current sociocultural demands and fashion trends [11].

To organize learning in accordance with Yurchenko's concept of form generation, it is advisable to use a combination of methods in technology lessons that ensure the transition from theoretical analysis to the production of a tangible object. In particular, at the initial stage of project-based technological activity, it is appropriate to apply the method of morphological analysis, which allows for a detailed examination of the structure of a future product through the prism of its material, construction, and manufacturing technology. Students learn to perceive form not as a static object, but as the result of the interaction of engineering and technological solutions.

It is also important to apply the method of functional-cost design, where the emphasis shifts toward combining utilitarian function and ergonomics. This method represents a technology of systematic analysis of the design object aimed at optimizing the ratio between its consumer value and implementation costs. Within design activity, this approach considers a product not merely as a material structure, but as a set of functions intended to meet specific user needs. The core logic of the method lies in maximizing product value, where functionality and quality are correlated with production cost.

The application of this method begins with the analysis of the functions of the designed product, during which all characteristics of the object are classified into primary, secondary, and excessive. This makes it possible to clearly define design priorities and eliminate elements that increase production cost without adding practical or aesthetic value. The next stage involves searching for alternative solutions, where the learner experiments with materials, constructions, and processing technologies to find the most effective way to implement the idea. Such an approach stimulates creative thinking, as the focus shifts from external appearance to constructive feasibility. The process concludes with an evaluation of economic and qualitative components, ensuring that the object meets ergonomic requirements and contemporary sociocultural demands.

Within the system of technological education, the method of functional-cost design is particularly valuable, as it teaches students to avoid excessive design and to create harmonious forms in which idea, morphology, and function are balanced [6].

The method of stylistic adaptation helps integrate the aesthetic component and current fashion trends into the design process. When applied in technology lessons, it enables learners to transform an abstract idea into a visually appealing and contemporary artistic image. This method fosters an analytical approach to creativity, teaching students not merely to reproduce ready-made samples but to reinterpret them through the lens of modern sociocultural trends and their own authorial style.

At the core of this method lies the learner's ability to identify stylistic features of an object (such as characteristic lines, color harmonies, proportional relationships, or ornamental motifs) and integrate them into a modern form without direct copying. An important component of the method is the transformation of traditional elements in accordance with current technological capabilities and ergonomic requirements, which allows archaic or specific forms to be turned into universal objects that meet the needs of the contemporary consumer. In the context of ethno-design in technology lessons, this method serves as an effective tool for working with national heritage, as it enables the transfer of symbolism and aesthetics of folk art into modern product design while avoiding artificiality or excessive decoration.

An important place in project-based technological activity is occupied by the method of project modeling, which involves the direct creation of physical models or digital prototypes of the designed products. It is at this stage that the synthesis of all categories, from idea to concrete morphology, takes place. During modeling, a critical synthesis of all design categories occurs, where the initial concept and artistic image are combined with real physical parameters such as

material morphology, structural strength, and technological feasibility. The use of prototyping in technology lessons allows for the practical testing of the ergonomic properties of the designed object, the identification of potential proportional errors, and the adjustment of the interaction between individual components and elements [1].

In the modern educational and professional environment, this method is often implemented through three-dimensional modeling tools, which enable complex engineering calculations and the visualization of the aesthetic qualities of a future form with a high degree of realism. Project modeling not only records an intermediate result of the design process but also stimulates further development of the concept, as working with three-dimensional forms reveals new perspectives that are not accessible at the sketching stage. Thus, this method ensures the integrity of the design process, transforming disparate requirements of function, aesthetics, and economics into a harmonious and viable technological object that fully corresponds to a defined sociocultural purpose.

An important component of the educational process in technology lessons, as the final stage of project-based technological activity, is the organization of discussions and analysis of the products created by learners. This contributes to overcoming creative barriers and stimulates students' creativity. Such reflection enables students to perceive their work as a holistic design object with a certain sociocultural value. During collective analysis, learners develop the ability to justify their design decisions, explain the choice of materials, and substantiate the correspondence between form and the selected idea or ethno-design motifs.

Public discussion of results creates a space for constructive criticism and exchange of experience, where each student can receive feedback not only from the teacher but also from peers, which significantly increases the level of self-criticism and responsibility for the quality of work. This helps transform possible

failures into valuable learning experiences, reducing the fear of mistakes, which often becomes a major barrier to creative self-expression [3].

Moreover, comparing different approaches to the same designed product clearly demonstrates the variability of creative thinking and encourages the search for non-standard solutions in future projects. Thus, the final stage of design and the concluding lesson on the topic become not merely a formal assessment of students' work, but a powerful tool for intellectual development, fostering the ability to analyze modern fashion trends, ergonomic requirements, and the aesthetic appropriateness of created objects in a real-life context. The development of such analytical discussion skills prepares students for professional activity, where the ability to present and defend one's project is no less important than the skill of its actual production.

A significant role in the formation of students' design competence in technology lessons is played by a dialogic approach and open communication. They ensure active interaction between students and the teacher, promote the exchange of ideas, and foster the development of critical thinking and communication skills. Open discussion stimulates creative activity, cultivates respect for others' opinions, and contributes to the development of social competence.

In addition to the methods mentioned above, the formation of design competence in learners during technology lessons also requires:

– the development of creative thinking through special exercises, including techniques aimed at overcoming psychological inertia, such as brainstorming, the method of focal objects, and morphological analysis. These methods are focused on generating unconventional ideas, identifying non-standard associations, and developing the ability to see new possibilities in ordinary things, which is fundamental for creating original design solutions;

– the formation of drawing and composition skills, which serve as a basic component for visualizing creative ideas. Drawing functions as a tool for analyzing form and space, while knowledge of compositional principles helps organize elements of a product into a harmonious structure that evokes a positive emotional and aesthetic response from the viewer or user;

– mastering graphic editors, which allows the design process to be transferred into a digital environment and meets the demands of the modern industry. Learning vector and raster graphic tools enables students to create high-quality sketches, technical drawings, and prototypes with high precision, significantly accelerating editing processes and the preparation of design documentation in accordance with modern technological standards;

– the development of infographic thinking, which involves the ability to structure large volumes of complex information and present it in a concise and visually comprehensible form. This is particularly relevant in the design process, where it is necessary to clearly demonstrate the logic of idea development, the search for creative solutions, the interaction of design elements, the stages of production, or the functional advantages of a product;

– interaction with professional practitioners, which ensures a direct connection between theory and real production. Communication with professional designers, engineers, or craftspeople in decorative and applied arts allows students to learn about aspects of the profession not covered in textbooks. Such experience helps better understand current market trends, quality requirements, and the specifics of working with various materials in real conditions.

In the process of teaching design in technology lessons, it is advisable to combine theoretical preparation (the study of design history and principles) with practical activities (drawing, modeling, and working with digital tools). It is also important to develop project management and teamwork skills, which correspond to modern professional requirements [4].

An important direction in developing students' design competence in specialized secondary education is the analysis of design samples and familiarization with historical and contemporary trends. An individual approach to learners also plays a significant role: the teacher should consider students' interests and abilities, support their creative potential, and guide their development according to their personal capabilities. It is essential to cultivate a positive attitude toward learning, self-improvement, and professional growth.

In this process, the teacher should act not only as an organizer of learning but also as a mentor who helps students understand design as a continuous creative process that requires exploration, experimentation, and critical reflection on results. The teacher should encourage students to explore various styles, techniques, and design directions, teach them to evaluate their own work, and identify ways for improvement. In addition, the teacher must continuously update their own knowledge, stay informed about current design trends, and actively engage with the professional community. This will enable them to effectively influence the development of students' design competence and prepare them for successful activity in the modern environment.

Conclusions

Thus, design competence is a complex integrated construct that encompasses knowledge, skills, experience, and personal qualities necessary for the creative solution of design tasks. It involves the ability to create functional and aesthetically refined objects, effectively interact with others, and continuously improve one's professional level. The teacher's role in developing students' design competence is comprehensive and multifaceted. It includes organizing the educational process, stimulating creativity, developing practical skills, and fostering the ability for critical analysis, which together ensure students' readiness for independent activity in the field of design.

References

1. Vdovchenko, V. V. (2001). Proiektne modeliuvannia na zaniattiakh z osvitnoi haluzi “Tekhnolohii” [Project Modeling in Technology Education Classes]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu*, (26), 19–22 [in Ukrainian].

2. Kudrenko, D. O. (2016). Fenomenolohiia khudozhno-hrafichnykh kompetentnostei studentiv mystetskykh spetsialnostei [Phenomenology of Artistic and Graphic Competencies of Students in Art Specialties]. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*, *IV*(47, Issue 101), 30–33 [in Ukrainian].

3. Machacha, T. S. (2017). Osoblyvosti formuvannia predmetnoi proiektno-tekhnolohichnoi kompetentnosti v protsesi trudovoho navchannia i tekhnolohii [Features of Forming Subject Project-Technological Competence in the Process of Labor Training and Technology Education]. *Tekhnolohichna osvita: Metodychni rekomendatsii MON Ukrainy shchodo orhanizatsii navchalnoho protsesu v 2017/2018 navchalnomu rotsi* (s. 43–52) [in Ukrainian].

4. Mozha, O. Yu. (2023). *Formuvannia dyzainerskoi kompetentnosti uchniv na urokakh tekhnolohii pry stvorenni firmovoho styliu [Development of Students’ Design Competence in Technology Lessons through Brand Identity Creation]* [Kvalifikatsiina robota, Kryvorizkyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet] [in Ukrainian].

5. Nahorna, N. V. (2007). Formuvannia u studentiv poniat kompetentnosti i kompetentsii [Formation of the Concepts of Competence and Competency in Students]. *Vykhovannia i kultura*, (1–2), 266–268 [in Ukrainian].

6. Okhrimenko, O. O. (2013). *Funktsionalno-vartistnyi analiz [Functional-Cost Analysis]*. Osvita Ukrainy [in Ukrainian].

7. Pauk, M. M. (2024). Efektyvni komunikatsii (soft skills) v osvitnii praktytsi zakladiv fakhovoi peredvyshchoi osvity [Effective Communication (Soft Skills) in the Educational Practice of Professional Pre-Higher Education Institu-

tions]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Osvita i nauka»*, *1*(36), 150–160 [in Ukrainian].

8. Tymchenko, M. (2019). Khudozhno-proiektna diialnist yak providnyi zasib rozvytku tvorchykh zdibnostei maibutnikh dyzaineriv [*Artistic and Project Activity as a Leading Means of Developing Creative Abilities of Future Designers*]. *Osvitni obrii*, (1), 70–73 [in Ukrainian].

9. Khymynets, V. (2010). Kompetentnisnyi pidkhid do profesiinoho rozvytku vchytelia [Competency-based approach to professional development of a teacher]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu*. Seriia: Pedahohika. Sotsialna robota, 19, 243–247. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuped_2010_18-19_75

10. Shpetnyi, O. (2024). Metody formuvannia khudozhno-proiektnoi kompetentnosti maibutnikh dyzaineriv-hrafikiv [*Methods of Forming Artistic and Project Competence of Future Graphic Designers*]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk*, *77*(3), 303–308 [in Ukrainian]

11. Yurchenko, I. (2015). Osoblyvosti formuvannia universalnoi modeli protsesu formotvorennia [Features of Forming a Universal Model of the Form-Making Process]. *Visnyk Lvivskoi natsionalnoi akademii mystetstv*, (26), 41–48 [in Ukrainian].

Чередниченко Тетяна, старший викладач кафедри психології діяльності в особливих умовах, Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна, https://orcid.org/0000-0001-5496-1083

Cherednychenko Tetiana, Senior Lecturer at the Department of Psychology of Activity in Special Conditions, National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-5496-1083

ОСОБЛИВОСТІ РЕІНТЕГРАЦІЇ ВНУТРІШНЬО ПЕРЕМІЩЕНИХ ОСІБ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ

PECULIARITIES OF THE REINTEGRATION OF INTERNALLY DISPLACED PERSONS UNDER MARTIAL LAW: A THEORETICAL ANALYSIS

Анотація

У статті здійснено теоретичний аналіз психологічних особливостей реінтеграції внутрішньо переміщених осіб (ВПО) до життєдіяльності в умовах воєнного стану. Обґрунтовано, що реінтеграція є складним багаторівневим процесом, який передбачає відновлення цілісності особистості, соціальних ролей і повноцінного функціонування в новому середовищі та базується на попередньому етапі адаптації. Визначено, що адаптація виступає ключовою передумовою реінтеграції, забезпечуючи стабілізацію емоційного стану, формування нових поведінкових стратегій і пристосування до змінених умов життя. Проаналізовано вплив воєнного стану на психічне здоров'я ВПО, зокрема окреслено основні чинники травматизації: втрату життєвих ресурсів, переживання небезпеки, соціальну

дезадаптацію, порушення відчуття безпеки та трансформацію ціннісно-мотиваційної сфери. Розглянуто адаптацію як динамічний процес, що охоплює психологічний, соціальний і поведінковий рівні, а також має хвилеподібний характер розвитку. Окрему увагу приділено науковим підходам до розуміння адаптації та стресу, зокрема концепції загального адаптаційного синдрому, що пояснює механізми виснаження ресурсів у тривалих стресових умовах. Доведено, що ефективна реінтеграція ВПО можлива за умови комплексного підходу, який поєднує психологічну допомогу, соціальну підтримку та створення сприятливого середовища для відновлення життєдіяльності.

Ключові слова: адаптація, реінтеграція, внутрішньо переміщені особи, воєнний стан, психологічна стійкість, психічне здоров'я, соціально-психологічна адаптація.

Abstract

The article provides a theoretical analysis of the psychological characteristics of the reintegration of internally displaced persons (IDPs) into everyday functioning under conditions of martial law. Reintegration is substantiated as a complex, multi-level process involving the restoration of personal integrity, social roles, and full functioning within a new environment, and is grounded in a preceding stage of adaptation. Adaptation is identified as a key prerequisite for reintegration, ensuring the stabilization of the emotional state, the development of new behavioral strategies, and adjustment to altered living conditions. The impact of martial law on the mental health of IDPs is analyzed, with particular emphasis on the principal factors of traumatization, including the loss of vital resources, exposure to danger, social maladjustment, disruption of the sense of safety, and transformations in the value-motivational sphere. Adaptation is conceptualized as a dynamic process encompassing psychological, social, and

behavioral dimensions, characterized by a wave-like pattern of development. Special attention is given to scientific approaches to understanding adaptation and stress, in particular the concept of the General Adaptation Syndrome, which explains the mechanisms of resource depletion under prolonged stress conditions. It is demonstrated that effective reintegration of IDPs is possible only through a comprehensive approach that integrates psychological assistance, social support, and the creation of a supportive environment for the restoration of everyday functioning.

Keywords: adaptation, reintegration, internally displaced persons, martial law, psychological resilience, mental health, socio-psychological adaptation.

Постановка проблеми. Повномасштабне вторгнення росії на територію України змусило мільйони українців залишити рідні міста й села та шукати більш безпечні місця для проживання. Воєнні події спричинили масовий рух населення всередині країни, що стало одним із найбільших викликів для систем соціальної підтримки, гуманітарної допомоги та психологічного супроводу. Процес реінтеграції внутрішньо переміщених осіб (далі – ВПО) має не лише соціально-економічний, але й глибоко психологічний вимір: втрата дому, травматичні переживання, руйнування соціальних зв’язків, невизначеність майбутнього – усе це прямо впливає на здатність людини відновити повноцінну життєдіяльність.

Хоча є наукові дослідження щодо адаптації біженців та ВПО у мирний час, умови тривалих бойових дій створюють специфічний контекст, який потребує додаткового теоретичного та емпіричного аналізу. Особливо бракує досліджень, що поєднують індивідуальні психологічні реакції з конкретними практичними моделями реінтеграції в умовах активного воєнного конфлікту. Дослідження психологічних особливостей реінтеграції ВПО є доцільним і необхідним для розроблення ефективних моделей

психосоціальної допомоги, спрямованих на відновлення життєдіяльності, підвищення життєстійкості та соціальної виключності цієї категорії населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реінтеграція особистості є складним і багаторівневим процесом, що передбачає відновлення її цілісності, соціального функціонування та активної взаємодії з навколишнім середовищем після пережитих кризових або травматичних подій. Водночас вона неможлива без попереднього етапу адаптації, яка виступає її базовою передумовою. Саме адаптація забезпечує первинне пристосування людини до нових умов життя, стабілізацію емоційного стану та формування мінімального рівня внутрішньої рівноваги, необхідного для подальших змін. Термін «адаптація» походить від латинського слова «adaptatio», що означає «пристосування». У своєму найширшому значенні вона охоплює сукупність психічних, поведінкових і соціальних механізмів, що забезпечують успішне функціонування індивіда в умовах нової реальності [6].

Вагомий внесок у розвиток теорії адаптації зробили зарубіжні дослідники: Ж. Ламарк заклав основи біологічного підходу, У. Кеннон та Г. Сельє досліджували фізіологічні аспекти адаптації, І. Гердер зосередився на адаптації особистості в соціокультурному контексті, а Ж. Піаже, Г. Спенсер, Л. Філіпс та Т. Шибутані приділили увагу соціально-психологічним аспектам адаптації [2; 6; 7; 8; 9].

Для ВПО зазначене явище набуває особливої актуальності, оскільки воєнні дії, втрата дому, зміна соціального оточення й вимушений переїзд створюють ситуацію, у якій звичні життєві моделі руйнуються, а потреба в нових формах пристосування стає життєво необхідною.

Метою статті є здійснення теоретичного аналізу особливостей процесу реінтеграції ВПО до життєдіяльності в умовах воєнного стану.

Виклад результатів. Одним із перших дослідників, який визначив, що всі живі організми змінюються під впливом умов існування, був Ж. Ламарк. В його розумінні, адаптація – це результат взаємодії організму з навколишнім середовищем [7]. У психології ця ідея лягла в основу уявлень про адаптивну поведінку, роль стресорів, зміну звичок і функціональних систем. Як результат, ідеї Ж. Ламарка часто застосовують у гуманітаристиці для аналізу того, як зовнішні умови змінюють поведінку, стратегії виживання, цілі та ресурси людських груп.

Г. Селье в своїй монографії 1956 року вводить поняття «загальний адаптаційний синдром» (GAS) [9], що стає фундаментом для розуміння стресу й адаптації. Дослідник визначав адаптацію як здатність організму збільшувати внутрішні ресурси для протидії стресу і припускав існування певного «запасу» адаптаційної енергії, який може вичерпатися. Праці Г. Селье стали основою сучасного розуміння психологічної та фізіологічної адаптації та показали, що тривала дія стресорів, таких як воєнний стан, переміщення, втрата житла, соціальна невизначеність, веде до виснаження ресурсів.

На думку дослідника загальний адаптаційний синдром (GAS) має три стадії:

1. Стадія тривоги, що включає в себе мобілізацію енергії, викид адреналіну та різке напруження ресурсів організму.

2. Стадія резистентності, коли організм намагається пристосуватися до стресора, підтримує гомеостаз на новому рівні та відбувається різке напруження ресурсів організму; ця фаза і є власне процес адаптації.

3. Стадія виснаження, на якій ресурси організму поступово вичерпуються, можливі порушення у функціонуванні органів, психічне виснаження, хронічні розлади.

А от І. Гердер – німецький філософ, просвітитель, культуролог, один із засновників ідей гуманізму, культурної антропології та філософії історії – вважав, що розвиток особистості неможливо зрозуміти поза культурним, історичним та соціальним контекстом. Людина – продукт своєї епохи, нації, традицій [2]. Це перегукується з сучасними моделями життєстійкості та подолання травми та дає філософське підґрунтя для розуміння соціальних змін, трансформацій під час криз та процесів реінтеграції.

У законодавстві України поняття ВПО визначене Законом України «Про забезпечення прав і свобод внутрішньо переміщених осіб» № 1706-VII від 20.10.2014 р. [4]. Згідно з цим законом, ВПО є громадянин України, іноземець або особа без громадянства, яка була змушена покинути місце проживання внаслідок або з метою уникнення негативних наслідків збройного конфлікту, тимчасової окупації, масових порушень прав людини або надзвичайних ситуацій.

Юридичний статус ВПО визначається вимушеним характером переселення, що безпосередньо корелює з психологічними факторами травматизації та емоційного реагування. До ключових з них належать:

1. Втрата значущих життєвих ресурсів. ВПО часто переживають втрату житла, майна, роботи, звичних соціальних зв’язків, а інколи – близьких людей. Це створює відчуття зруйнованої життєвої основи та викликає глибокі емоційні реакції, серед яких: шок, страх, тривога, розпач, почуття невизначеності.

2. Психологічна травматизація. Багато ВПО стали свідками або учасниками подій, пов’язаних з насильством, вибухами, руйнуваннями, загрозою життю. Такі переживання можуть зумовити розвиток гострих стресових реакцій, посттравматичного стресового розладу, депресивних розладів, підвищеної емоційної вразливості.

3. Соціальна дезадаптація. Переміщення спричиняє втрату звичного соціального контексту та статусу. Людина опиняється у новому оточенні, де змінюються вимоги, рівень підтримки, можливості працевлаштування. Часто формується відчуття «чужості», стигматизації, соціальної ізоляції.

4. Порушення базових відчуттів безпеки та контролю. Внаслідок воєнного стану та вимушеної міграції у ВПО посилюється відчуття небезпеки, безпорадності, неможливості впливати на власну життєву ситуацію. Це підвищує рівень тривожності, сприяє формуванню унікальних моделей поведінки та емоційної ригідності.

5. Трансформація ціннісно-мотиваційної сфери. У багатьох переміщених осіб відбувається перегляд життєвих пріоритетів, зміна значущих цілей, переосмислення сенсу життя. Частина осіб демонструє зниження мотивації, інші – навпаки, мобілізацію сил і ресурсів для подолання труднощів.

Як бачимо, ВПО стикаються з тяжкими психологічними наслідками, які можуть бути пов’язані з втратою близьких людей, домівки, звичного способу життя, місця роботи, а також із пережитими актами насильства, обстрілами та руйнуваннями. Сам процес переміщення часто супроводжується різкими змінами в соціальному та життєвому середовищі, що порушує відчуття контролю, стабільності та безпеки. Це підвищує ризик розвитку травматичних реакцій, тривожних та депресивних розладів, а також інших форм емоційного виснаження.

Крім того, адаптація ВПО є довготривалим і багатовимірним процесом. Він охоплює не лише вирішення побутових і матеріальних питань, а й відновлення соціальних зв’язків, перегляд життєвих цілей, пошук нових джерел підтримки та формування оновленої ідентичності. Реінтеграція направлена саме на відновлення почуття контролю над своїм життям та інтеграцію травматичного досвіду завдяки адаптації до нової реальності.

Травма не зникає, але вона стає частиною життєвого досвіду, яку людина може приймати без руйнівних наслідків.

У контексті ВПО адаптація включає одразу кілька рівнів. На психологічному рівні вона пов'язана з відновленням емоційної рівноваги після пережитих втрат, формуванням нових смислів, перебудовою уявлень про майбутнє та опануванням стресом. На соціальному рівні адаптація стосується налагодження нових контактів, включення у локальну громаду, відтворення або заміщення втраченої соціальної підтримки. На поведінковому рівні - це набуття нових навичок, пов'язаних зі специфікою життя у новому середовищі: оформлення документів, пошук житла, робочих можливостей, навчальних закладів тощо [3].

Особливістю адаптаційного процесу переселенців є те, що він відбувається в умовах підвищеної стресогенності. Воєнний стан, інформаційна невизначеність, нестабільність майбутнього та досвід втрати створюють додатковий тиск на психіку. У таких умовах адаптація перестає бути лише природною реакцією на зміну середовища – вона перетворюється на вимушену стратегію виживання. Людина змушена переосмислити власні ресурси, знайти внутрішні опори та відновити здатність діяти, незважаючи на емоційне виснаження. Тому психологи підкреслюють, що адаптація ВПО має травматичний характер і супроводжується високим ризиком розвитку тривожних чи депресивних станів.

Разом із тим адаптація не є разовою подією – це тривалий, поступовий процес, що може мати хвилеподібну динаміку. На перших етапах переселенці часто переживають дезорієнтацію, підвищену тривожність і відчуття втрати контролю. Згодом вони переходять до пошуку стабільності, побудови нових життєвих структур і поступового повернення до продуктивної діяльності. Саме на цьому етапі адаптація починає трансформуватися в реінтеграцію – процес, який передбачає не лише

пристосування до нового середовища, але й активне включення в соціальне життя громади [3]. Реінтеграція передбачає глибший рівень взаємодії особистості зі середовищем, ніж проста адаптація. Якщо адаптація зосереджена на подоланні дискомфорту та стабілізації психічного стану, то реінтеграція спрямована на відновлення втрачених соціальних ролей, формування почуття належності до нової спільноти та повернення до активної участі в суспільному житті. У процесі реінтеграції особа не лише «входить» у середовище, а й впливає на нього, виявляючи ініціативу, створюючи нові зв'язки та відновлюючи власну суб'єктність. Таким чином, адаптація стає фундаментом для реінтеграції: вона забезпечує психічну стабільність та мінімальні умови, необхідні для подальшого включення у нові соціальні структури.

Успішність адаптації ВПО значною мірою залежить від поєднання внутрішніх і зовнішніх ресурсів особистості. До внутрішніх ресурсів належать: психологічна стійкість, позитивна самооцінка, гнучкість мислення, мотивація до змін та здатність використовувати ефективні копінг-стратегії. Зовнішні фактори включають: підтримку сім'ї, прийняття з боку місцевої громади, доступ до соціальних послуг, наявність житла та можливість працевлаштування. Коли ці чинники гармонійно взаємодіють, процес адаптації відбувається швидше, а ймовірність успішної реінтеграції значно зростає.

Згідно з М. Корнієнко психологічний стан ВПО формується під впливом комплексу травматичних і посттравматичних факторів [5]. У своїй роботі він здійснює комплексний соціально-психологічний аналіз процесів реінтеграції ВПО після початку збройного конфлікту на сході України. Основна увага приділяється соціальним, психологічним та особистісним факторам, що визначають успішність або ускладнення адаптаційних процесів. Дослідник підкреслює, що адаптація ВПО – це не одноразова

подія, а тривалий динамічний процес, що охоплює: емоційну стабілізацію після травматичних подій, відновлення соціальних зв'язків, пошук нових життєвих орієнтирів, інтеграцію у нові спільноти, відновлення почуття контролю над життям. Науковець наголошує на необхідності розвитку місцевих програм підтримки, створення центрів психологічної допомоги, навчання фахівців методам роботи з травмою, формування толерантності у громадах та професійної реінтеграції ВПО як ключового інструменту соціальної стабілізації.

Саме тому М. Корнієнко пропонує власну модель соціально-психологічної адаптації ВПО [5], що включає:

1. Стартовий кризовий етап. Шок, емоційна дезорієнтація, високий рівень невизначеності.

2. Етап первинної адаптації. Пошук житла, роботи, контактів; відновлення мінімальної соціальної структури життя.

3. Етап стабілізації. Поступове прийняття нових умов, формування соціальних зв'язків, відновлення емоційної рівноваги.

4. Етап реінтеграції/активного розвитку. Включення у громаду, відновлення професійної та соціальної ролі, побудова нових життєвих планів.

Важливо також враховувати, що адаптаційний процес завжди індивідуальний. Дві людини, які пережили схожі події, можуть мати різні траєкторії відновлення залежно від особистісних характеристик, попереднього досвіду, віку, соціального статусу та рівня підтримки. Саме тому робота з ВПО повинна ґрунтуватися не на універсальних схемах, а на індивідуальному підході, що враховує особливості пережитої травми й особистісні ресурси.

Висновки. Воєнний стан створює ситуацію багатовимірної небезпеки, яка не лише загрожує фізичному існуванню, але й суттєво трансформує

психологічну реальність людини, змушуючи її адаптуватися до нових соціальних, економічних та культурних середовищ. У таких умовах ВПО постають перед необхідністю одночасно опрацьовувати травматичний досвід, відновлювати відчуття безпеки та будувати нові життєві стратегії. Особливості психологічного стану ВПО визначаються поєднанням гострих стресових реакцій, тривожності, фрустрації базових потреб та почуття втрати контролю над життям. Соціально-психологічний простір, у який потрапляє переміщена особа, часто характеризується невизначеністю, залежністю від інституційної підтримки та необхідністю швидкого переосмислення власної ідентичності. Воєнний стан істотно загострює адаптаційні процеси ВПО, оскільки постійний фон небезпеки, інформаційна перенасиченість та нестабільність соціальних структур створюють додатковий стресовий тиск. Разом із тим, саме у цей період активізуються внутрішні ресурси особистості – здатність до психологічної гнучкості, пошуку нових способів взаємодії з середовищем, формування компенсаторних стратегій виживання. Поступове входження у нове соціальне середовище сприяє відновленню відчуття належності, що є критично важливим для прийняття ситуації та формування стійкої адаптації.

Таким чином, процес адаптації ВПО в умовах воєнного стану є складним і багатогранним явищем, яке охоплює взаємодію індивідуальних психологічних механізмів, соціальних ресурсів і зовнішніх факторів, що формують контекст життя переміщеної особи. Саме комплексне розуміння психічних станів і адаптаційних механізмів ВПО є необхідною умовою для формування ефективної системи соціально-психологічної підтримки та успішної реінтеграції населення, що переживає наслідки воєнного стану.

Література

1. Баринова О. Ю. Соціальна допомога внутрішньо переміщеним особам як складова процесу їхньої адаптації. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 19. Корекційна педагогіка та спеціальна психологія*, 2018. №1(46). С. 5-9.

2. Гердер І. Г. Ідеї до філософії історії людства. Київ : Юніверс, 2001. 624с.

3. Гундаріна О. В., Малиновська О. В. Фактори соціально-психологічної адаптації внутрішньо переміщених осіб в умовах військового конфлікту на сході України. *Вісник психології і педагогіки*, 2020. №27(2). С.22-29.

4. Закон України «Про забезпечення прав і свобод внутрішньо переміщених осіб» від 20 жовтня 2014 р. № 1706-VII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1706-18#Text

5. Корнієнко І. М. Внутрішньо переміщені особи в Україні: соціально-психологічний аналіз адаптаційних процесів. Київ : ІСДО, 2020. 144 с.

6. Кузьмін В. В., Кузьміна М. О., Стрижак Г. В. Соціально-психологічна адаптація внутрішньо переміщених осіб : монографія. Одеса : ОНУ імені І. І. Мечникова, 2021. 196 с.

7. Ламарк Ж.-Б. Філософія зоології. Київ : Наукова думка, 2001. 412 с.

8. Михайлич О. В. Соціально-психологічні особливості адаптації внутрішньо переміщених осіб : монографія. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. 214 с.

9. Сельє Г. Стрес життя. Монреаль : McGill University Press, 1956. 324 с.

References

1. Barynova O. Yu. Sotsialna dopomoha vnutrishno peremishchenym osobam yak skladova protsesu yikhnoi adaptatsii. Naukovyi chasopys NPU imeni

M. P. Drahomanova. Seriia 19. Korektsiina pedahohika ta spetsialna psykholohiia, 2018. №1(46). S. 5–9.

2. Herder I. H. Idei do filosofii istorii liudstva. Kyiv : Yunivers, 2001. 624s.

3. Hundarina O. V., Malynovska O. V. Faktory sotsialno-psykholohichnoi adaptatsii vnutrishno peremishchenykh osib v umovakh viiskovoho konfliktu na skhodi Ukrainy. Visnyk psykholohii i pedahohiky, 2020. №27(2). S.22–29.

4. Zakon Ukrainy «Pro zabezpechennia prav i svobod vnutrishno peremishchenykh osib» vid 20 zhovtnia 2014 r. № 1706-VII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1706-18#Text

5. Korniienko I. M. Vnutrishno peremishcheni osoby v Ukraini: sotsialno-psykholohichnyi analiz adaptatsiinykh protsesiv. Kyiv : ISDO, 2020. 144 s.

6. Kuzmin V. V., Kuzmina M. O., Stryzhak H. V. Sotsialno-psykholohichna adaptatsiia vnutrishno peremishchenykh osib : monohrafiia. Odesa : ONU imeni I. I. Mechnykova, 2021. 196 s.

7. Lamark Zh.-B. Filosofiia zoolohii. Kyiv : Naukova dumka, 2001. 412 s.

8. Mykhailych O. V. Sotsialno-psykholohichni osoblyvosti adaptatsii vnutrishno peremishchenykh osib : monohrafiia. Kryvyi Rih : KDPU, 2020. 214 s.

9. Selie H. Stres zhyttia. Monreal : McGill University Press, 1956. 324 s.

Hoidash Yurii Romanovych, graduate student at the Organizational Management Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0005-5617-6915

Teterin Oleh Anatoliyovych, graduate student at the Organizational Management Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0002-4145-7923

Protsak Kateryna Volodymyrivna, PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Organizational Management Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-5864-4077

DIGITAL COMPETENCIES OF PERSONNEL AS A FACTOR OF ORGANIZATIONAL FLEXIBILITY AND ADAPTABILITY OF THE ENTERPRISE

Abstract

The article examines the role of digital competencies of personnel as a key factor in ensuring organizational flexibility and adaptability of enterprises under conditions of environmental turbulence, digital transformation, and crisis instability. The study is based on the premise that modern enterprises face a significant gap between the growing demand for digital skills and the actual level of their development among employees, which limits the effective use of human capital and slows down transformation processes.

The purpose of the research is to substantiate the theoretical and methodological foundations for the formation and development of digital competencies of personnel as a driver of organizational flexibility and adaptability. The paper clarifies the essence of digital competencies, emphasizing their integrated nature, which combines technical skills with soft skills and meta-competencies such as adaptability, creativity, critical thinking, and the ability to

learn continuously. It is argued that such a synergistic combination enables employees to respond effectively to dynamic changes and uncertainty.

The study systematizes modern methods and tools for managing personnel competencies, including digital skills assessment frameworks, HRM and LMS platforms, analytics and monitoring tools, strategic competency management instruments, AI-based solutions, and knowledge management systems. Their comprehensive application allows enterprises to identify skill gaps, design personalized learning trajectories, and enhance decision-making processes.

A model of systematic identification of digital competency needs and organization of personnel training is proposed, which ensures consistency and continuity in skills development. In addition, key performance indicators (KPIs) for assessing the effectiveness of digital competency development are defined, including digital literacy level, employee engagement, productivity growth, and speed of adaptation to new technologies.

The findings highlight that overcoming resistance to change through effective change management practices, leadership development, and the formation of a learning-oriented organizational culture is a critical prerequisite for successful digital transformation. It is concluded that the development of digital competencies significantly enhances the flexibility, adaptability, and resilience of enterprises, enabling them to maintain competitiveness and achieve sustainable development in conditions of uncertainty.

Keywords: information literacy, personnel development, digital competences, meta-competencies, management tools.

Problem statement. In today's conditions of high turbulence of the business environment, caused by globalization processes, the digital transformation of the economy, as well as crisis phenomena related to military actions, enterprises are faced with the need for quick adaptation to dynamic changes, which, in turn,

actualizes the issue of forming organizational flexibility and adaptability. At the same time, there is a significant gap between the needs of business in the digital competencies of personnel and the real level of their formation, which is due to both the insufficient level of integration of digital and social-behavioral (soft skills) skills, and the high level of resistance to changes among employees.

Despite the rapid development of automation, artificial intelligence technologies and digital platforms, a significant part of enterprises does not have a systematic approach to managing the development of digital competencies, which makes it impossible to effectively use human capital as a key resource for ensuring organizational sustainability. Under such conditions, there is a need to form a comprehensive approach to the development of personnel competencies and to assess their impact on the flexibility and adaptability of the enterprise.

Analysis of recent research and publications. Ololade A. Shonubi is investigating that modern organizations need alternatives to existing business models due to rapid digitalization development and global competitive pressure. This study emphasizes the importance of applying individual strategies for the digital transformation of enterprises and emphasizes the importance of digital training of personnel [1]. Litorovych O., Karyy O. justify that digital transformation involves not only the installation of modern hardware or software, but also fundamental changes in approaches to management, corporate culture and external communications [2]. Melnyk, O., & Ruda, M. point out that change management is essential to the success of digital transformation – is helping individuals and teams embrace change. Through strategic planning and skilful change management, managers can achieve lasting success in the digital environment [3]. Melnyk, L. H., Karintseva, O. I., Kubatko, O. V., Sotnyk, I. M., & Zavdovieva, Y. M. generalize that a person is the driving force behind all digital transformations of society and needs certain digital competencies that include the confident, critical and responsible use of digital technologies for learning, working and participating in public life. Digital

competencies include information literacy; the ability to perceive data, communicate and collaborate with other participants in social processes; the ability to create digital content (including programming); organizing security (including digital well-being and solving cybersecurity problems) and are achieved through lifelong learning [4].

Kanova, O., Kryvobok, K., & Omarov, E. note that under the influence of rapid changes, business managers must adapt their employees to new realities and promote the development of their leadership qualities. The effectiveness of the formulation of a change strategy, corporate culture, and organizational readiness for innovative technologies depends on the development of personnel and their leadership qualities [5]. Sacavém, A., de Bem Machado, A., dos Santos, J. R., Palma-Moreira, A., Belchior-Rocha, H., & Au-Yong-Oliveira, M. emphasize that effective leadership is critical to managing digital transformation, integrating technology into organizational processes to facilitate learning, collaboration and flexibility, allowing companies to adapt to market changes, reduce uncertainty and improve decision-making for sustainable growth. By using the right tools and with the right frequency, leaders can develop team cohesion even from a distance [6]. A large number of publications on this topic confirms the relevance of the researched issues, but it requires further study of the formation of a comprehensive approach to the development of personnel competencies and assessment of their impact on the flexibility and adaptability of the enterprise in conditions of rapid changes and environmental uncertainty.

Formulation of the article's objectives. The purpose of the study is to substantiate the theoretical and methodological foundations of the formation and development of digital competencies of personnel as a key factor in ensuring the organizational flexibility and adaptability of the enterprise in conditions of digital transformation and crisis instability. To achieve the set goal, the following tasks are defined:

- investigate the essence of digital competencies of personnel and their role in ensuring organizational flexibility;
- systematize methods and tools for assessing the level of digital competencies;
- identify key performance indicators (KPI) for the development of digital skills;
- develop a model of systematic identification of needs in digital competencies and organization of personnel training;
- justify the impact of the development of digital competencies on the adaptability of the enterprise in crisis conditions.

Main part. In today's knowledge economy, staff digital competencies act not only as a functional set of skills related to the use of information and communication technologies, but also as a strategic resource that ensures the organization's ability to quickly respond to changes in the external environment. At the same time, organizational flexibility is interpreted as the ability of the enterprise to quickly change business processes, management structure and personnel behavior patterns in accordance with new conditions, while adaptability reflects long-term capacity for transformation and recovery. To ensure the flexibility and adaptability of enterprises, a complex of digital competencies of personnel (the ability to find, evaluate, process and interpret digital information for making operational decisions), communication in a digital environment (effective use of digital tools for cooperation, for example Zoom, Teams, CRM systems), creation of digital content and problem-solving security. Key to adaptation are the ability to quickly master new digital tools, work with big data, use cloud technologies and platforms for remote cooperation. Along with the scientific justification of the concept of digital competences, the updated Digital Competence framework (DigComp 3.0) presented in the European Union is also considered, in which their components are indicated: Artificial Intelligence (including Generative AI) competence; Cybersecurity

competence; Digital rights, choice and responsibilities; Wellbeing in digital environments; Competence to tackle misinformation and disinformation [7].

An important aspect is that digital competencies should be addressed in relation to soft skills, in particular critical thinking, learning ability, communication skills and readiness for change, since it is their synergy that ensures effective implementation of digital solutions. In addition, the researchers note that in conditions of crises and turbulence of the environment, meta-skills become more important, which allow in unpredictable situations to think creatively, respond flexibly to changes, quickly learn and master new skills [8]. Researchers and practitioners primarily attribute adaptability, creativity, self-awareness, the ability to work with goals (in particular, to find meaning), as well as analytical thinking necessary for solving problems to the key meta-competences of a modern employee. [9]. Insufficient qualification of personnel inhibits the process of digital transformation of the enterprise and increases training costs [10]. The lack of an integrated approach to the development of such competencies leads to the formation of a digital divide, which is manifested in the discrepancy between the requirements of the digitalized work environment and the real capabilities of the staff.

In the context of the growing uncertainty of the external environment, the dynamism of market changes and the accelerated digital transformation, the introduction of modern methods and tools for managing personnel competencies is gaining special relevance. Their systematic use contributes to the timely identification of skills gaps, the development of key meta-competencies and the formation of the ability of employees to effectively respond to new challenges. This, in turn, ensures an increase in organizational flexibility, adaptability of the enterprise and its resistance to change. In order to summarize and systematize such approaches, Table 1 presents modern methods and tools for managing personnel competencies, their examples and areas of application.

Table 1

Modern methods and tools of personnel competence management

Name of the group of methods and tools	Tool name	Example	Scope
Methods of determining digital literacy	ICDL/ECDL (European Computer Driving Licence), Цифрограм, DigComp 3, Digital Competence Wheel	Corporate portals	For wide application, digital literacy for citizens
Digital platforms and systems, including for continuing training	HRM-системи (Human Resource Management Systems)	SAP SuccessFactors, Workday, BambooHR platforms, creating digital competency profiles for different positions	training, competence management, skills record keeping
	Learning Management Systems (LMS)	Системи Moodle, Coursera for Business, Udemy for Business Microlearning platforms	organization of corporate training and professional development
	Personnel evaluation platforms	Digital Skills Assessment, 360-degree feedback, Harrison Assessments, Criteria Corp, performance analysis, Key Performance Indicators	provide a multidimensional assessment of employee skills
Analytics and monitoring tools	Big Data Analytics platforms	Power BI, Tableau, Zoho Analytics	they analyze data on the effectiveness of employees and the compliance of their competences with the goals of the organization
	Staff sentiment monitoring tools	Officevibe, Culture Amp, staff surveys and self-diagnosis	Evaluation by employees of their own competences and the need for improvement
Methods of strategic competence management	Competency Frameworks, Skills Matrix, Talent Mapping	SFIA Framework, DigComp for Organizations, competency models	strategic planning of personnel development; determination of competence gaps (skills gaps)
Development and reskilling tools	Upskilling / Reskilling programs; Individual Development Plans (IDP); Mentoring & Coaching platforms	Degreed, EdCast, LinkedIn Learning; internal corporate development programs	development of digital and meta-competencies; preparation for changes and transformations
Tools based on artificial intelligence	AI-based skill assessment; Adaptive learning systems; Talent intelligence platforms	Eightfold AI; Gloat; Oracle Dynamic Skills	personalized learning; automatic selection of educational trajectories
Knowledge management tools	Knowledge bases ; corporate wiki; knowledge sharing systems	Confluence; Notion; SharePoint	accumulation and transfer of knowledge; support for continuing training

Source: Formed by authors based on [11; 12; 13]

In order to ensure the systematicity of the process of development of digital competencies, a model is proposed, which includes the following stages (Fig 1) Tooling may include the use of HR analytics, distance learning platforms (LMS), talent management systems (TMS), and digital tracking systems that allow you to track progress in skills development.

Of particular importance is taking into account the factor of resistance to change, which can be minimized by implementing effective change-management strategies, developing leadership and creating a favorable organizational environment focused on learning and innovation.

Key KPIs for the development of digital competencies of personnel can be:

- staff digital literacy rate (Digital Literacy Index);
- proportion of employees who have received digital training;
- speed of adaptation to new digital tools;
- labor productivity after the implementation of digital solutions;
- level of staff involvement (Employee Engagement);
- reducing the execution time of operational processes; index of innovative activity.

Thus, the development of digital competencies of personnel acts as a critical factor in increasing the organizational flexibility and adaptability of the enterprise, which allows not only to function effectively in conditions of uncertainty, but also to form sustainable competitive advantages in the long term.

Conclusions. As a result of the conducted research, it was established that in conditions of high turbulence, digital transformation and crisis challenges, the development of digital competencies of personnel acquires the status of a strategic factor in ensuring organizational flexibility and adaptability of the enterprise. Digital competencies have been shown to go beyond purely technical skills and encompass the ability to think critically, communicate quickly, learn quickly, and use digital tools effectively in management decision-making.

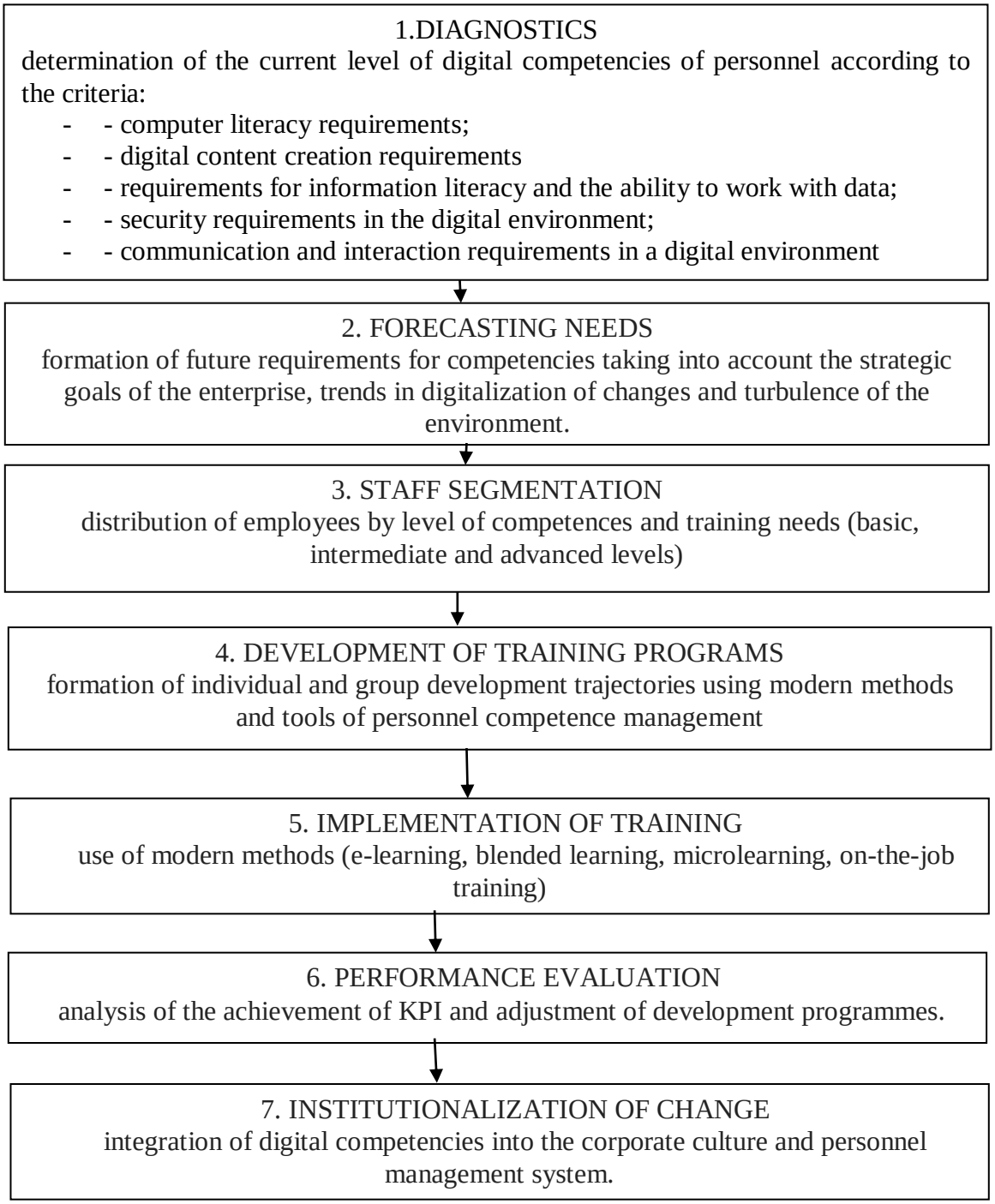


Fig. 1. Model of systematic identification of needs in digital competencies and organization of personnel training

Source: developed by the authors

It is substantiated that the key condition for effective digital transformation is the integration of digital competencies with socio-behavioral skills and meta-competencies, which ensure the ability of personnel to adapt in conditions of uncertainty. It was established that the lack of a systematic approach to managing the development of competencies leads to the formation of a «digital gap» between business needs and real opportunities of employees, which reduces the efficiency of the use of human capital.

The systematization of modern methods and tools for personnel competence management made it possible to single out their key groups, in particular digital skills assessment tools, digital learning platforms, analytical systems, strategic competence management tools, solutions based on artificial intelligence and knowledge management systems. It has been proven that their complex use ensures timely identification of gaps in competencies, formation of individual development trajectories and improvement of the effectiveness of management decisions.

The proposed model of systematic identification of needs in digital competencies and organization of personnel training allows to ensure consistency and continuity of skills development, orienting the enterprise to a proactive response to changes in the external environment. The defined key performance indicators (KPI) of the development of digital competencies create the basis for a quantitative assessment of the effectiveness of the implemented measures and their impact on the productivity and involvement of personnel.

It is substantiated that overcoming resistance to change is an important prerequisite for the successful implementation of competence development programs and requires the use of change-management tools, leadership development and the formation of an organizational culture focused on learning and innovation.

Thus, the development of digital competencies of personnel in combination with the systematic use of modern management tools ensures an increase in organizational flexibility, adaptability and sustainability of the enterprise, creating a basis for the formation of long-term competitive advantages in conditions of uncertainty. Prospects for further research consist in the development of applied methods for quantitative assessment of the impact of digital competencies on the economic results of enterprises and adaptation of the proposed approaches to industry features.

References

1. Ololade A. Shonubi (2025) Innovation challenges of digital transformation: Transitioning legacy to the future. *Sustainable Futures*. 10. 1-22. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100971 [in English]

2. Litorovych O., Karyy O. (2024) The role of digital competences in the personnel management process of enterprises. *Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues*. Vol. 8 (2). 209-217. https://doi.org/10.23939/semi2024.02.209 [in Ukrainian]

3. Melnyk, O., & Ruda, M. (2024). Strategic aspects of digital business transformation. Management and Entrepreneurship in Ukraine: The Stages of Formation and Problems of Development, 2024(2), 196–209. https://doi.org/10.23939/smeu2024.02.196 [in Ukrainian]

4. Melnyk, L. H., Karintseva, O. I., Kubatko, O. V., Sotnyk, I. M., & Zavdovieva, Y. M. (2020). Digitization of economic systems and human capital: Enterprise, region, national economy. Mechanism of an Economic Regulation, (2), 9–28. https://doi.org/10.21272/mer.2020.88.01 [in Ukrainian]

5. Kanova, O., Kryvobok, K., & Omarov, E. (2025). The impact of leadership on personnel development under the influence of digital transformation.

Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology, 2025(3), 220–225. https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-3-43 [in English]

6. Sacavém, A., de Bem Machado, A., dos Santos, J. R., Palma-Moreira, A., Belchior-Rocha, H., & Au-Yong-Oliveira, M. (2025). Leading in the Digital Age: The Role of Leadership in Organizational Digital Transformation. Administrative Sciences, 15(2), 43. https://doi.org/10.3390/admsci15020043 [in English]

7. The Digital Competence Framework 3.0. Retrieved from https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/education-and-training/digital-transformation-education/digital-competence-framework-digcomp/digcomp-30_en (accessed February 27, 2026) [in English]

8. Suslov, P. (2025). HR Digitalization and formation of personnel meta-competencies as factors of anti-crisis adaptability of enterprises. *Economy and Society*, (79). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-86 [in Ukrainian]

9. DAN.IT Education. (2024). Meta-skills – shcho tse take i chomu fakhivtsiam vazhlyvo nymy volodity [Meta-skills – what they are and why specialists need them]. URL: https://dan-it.com.ua/uk/blog/chto-takoe-meta-skills-i-pochemu-specialistam-tak-vazhno-imi-obladat (accessed February 19, 2026) [in Ukrainian]

10. Verbivska L., Dziuba T. (2025) Digital transformation of entrepreneurship: strategic challenges and management decisions. Інвестиції: практика та досвід № 12. С.60-66. DOI: 10.32702/2306-6814.2025.12.60 [in Ukrainian]

11. Dragan, O. Skopenko N., Ovadiuk V. (2025) Development of personnel competencies through information technologies in enterprise talent management. Розвиток міста. Вип. 4 (08). С. 20–27. [in English]

12. Chernikova N., Zhadan O., Pinchenko O. (2025) Management of competences of enterprise personnel in the conditions of digital change. Вісник ПДАУ (Економіка, управління та фінанси). Vol. 3. DOI https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2025.3.1

13. Shestack, Y., Biliavska, Y., Osetskyi, V., Mykytenko, N., Umantsiv, Y. (2023). Devising a comprehensive method to manage digital competencies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (13 (123)), 86–97. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281933

Khoruzhenko Tetiana, Pedagogical Sciences Candidate, Assistant Professor, Assistant Professor of Technological and Professional Education Chair of Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-8493-0242

PROJECT-BASED TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF CREATIVITY IN FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS

Abstract

The issue of developing an individual's creativity is an important objective in the training of future technology teachers, as it reflects the professional formation of a specialist who must be competent in pedagogical activity and creative in project-based and technological work. The development of students' creativity is one of the key factors contributing to successful learning, further adaptation to changing life conditions, and professional success.

The purpose of this article is to substantiate project-based technology as one of the innovative pedagogical methodologies that enables the effective development of creativity in future technology teachers.

The importance of fostering creativity in future specialists is emphasized in the educational policy documents of Ukraine, the European Union, and in the declarations of the World Economic Forum. The main objective of teacher education is to train competent and creative teachers who are capable not only of applying knowledge and skills in practice but also of making original decisions in their professional activities, particularly within the framework of the New Ukrainian School.

For a long time, the interpretation of creativity was considered synonymous with творча діяльність (creative activity), while the distinction of this concept and its wider dissemination in the scientific community took place in the twentieth

century. Creativity is the ability to generate new and original ideas and serves as an essential motivational foundation for creative activity.

In the context of developing the creativity of future technology teachers, project-based learning technology acquires particular significance. The successful implementation of project-based technology is determined by the role of the teacher, who acts as a facilitator in organizing the educational process. In the process of training technology teachers, the introduction of the creative project method occurs mainly during the study of elective disciplines within the cycle of professional training, which have an applied orientation.

An important criterion for selecting a project topic is its significance for the student, social orientation, the presence of entrepreneurial potential, practical applicability, and creative potential. Effective types of projects that contribute to the development of creativity in future technology teachers include informational, research, creative, game-based, and practice-oriented projects.

In conclusion, it is emphasized that project-based learning technology creates favorable conditions for the development of creativity in future technology teachers and for the training of specialists with a high level of professional competence and creative thinking.

Keywords: education, learning, project-based technology, creativity, future technology teacher.

Problem statement. The contemporary era requires new approaches to the acquisition of knowledge and its practical application; therefore, the problem of developing the creativity of the younger generation has become particularly relevant, as specialists capable of non-standard thinking are a fundamental prerequisite for the development of modern society. Creativity is becoming an essential component of graduates' competitiveness and their successful professional self-realization. In particular, the importance of fostering creativity in

future specialists is emphasized in the educational policy documents of our state, including the State National Program "Education" (Ukraine of the 21st Century), the National Doctrine for the Development of Education, the Law of Ukraine "On Higher Education", the Doctrine of Balanced Development "Ukraine 2030", and others.

The issue of developing an individual's creativity is one of the important tasks in the training of future technology teachers. Despite the considerable number of scientific studies and publications, the problem of creativity development among future technology teachers remains relevant, since there is still no clearly defined structure or sufficiently developed theoretical and methodological foundations for its enhancement. On the one hand, this problem is associated with the specific features of the development of modern society; on the other hand, it reflects the professional formation of a specialist in the field of technological education, who must demonstrate not only competence in pedagogical education but also a creative approach to project-based and technological activities.

Analysis of recent research and publications. The development of individual creativity has been the subject of extensive scholarly inquiry by numerous researchers. In particular, the scientific foundations of creativity have been examined by D. Bohoyavlenska, J. Guilford, D. Cougar, V. Moliako, O. Ponomaryova, V. Romenets, S. Sysoieva, R. Sternberg, P. Torrance, D. Treffinger, and others. Many Ukrainian scholars investigate the problem of creativity within the broader framework of studies on creativity, creative thinking, the development of creative abilities, and giftedness. Specifically, N. Kichuk conducted a methodological and substantive analysis of the creative personality of a teacher; M. Musiichuk identified pedagogical conditions for the effective development of creative abilities in prospective teachers; H. Siemonova substantiated pedagogical conditions for developing creative abilities of future

teachers based on a learner-centered approach; while H. Ponomaryova, L. Petrychenko, I. Poliakova, A. Kharkivska, O. Antonova, and S. Burchak explored the creativity of prospective teachers within the general theory of creativity.

One of the effective means of fostering individual creativity is project-based learning, which is widely implemented in educational institutions across the European Union. The founders of the project method were Cecil Reddie and Rufus Stimson. A detailed examination of the organization of learning through the project method is presented in the works of J. Dewey, W. Kilpatrick, and E. Collings. The development of the project method in domestic schools is associated with the names of V. Ihnatiev, M. Krupenina, V. Shulhin, H. Vashchenko, and E. Polat. Certain aspects of organizing project-based technological activities of prospective technology teachers have been studied by I. Androshchuk, O. Kobernyk, V. Kurok, V. Sydorenko, V. Steshenko, A. Tereshchuk, V. Tytarenko, and others.

Purpose of the article. The aim of the article is to substantiate project-based learning as an innovative pedagogical approach that effectively fosters the development of creativity in prospective technology teachers.

Presentation o f the main material o f the study. In contemporary educational practice, the development of creativity in prospective teachers is regarded as one of the key factors of successful learning, further adaptation of specialists to changing life conditions, and an essential determinant of professional success. Creativity shapes an individual's readiness for change and the ability to move beyond stereotypical thinking. According to V. Pavlenko, in today's world it is crucial that a teacher who effectively fosters students' creativity is themselves a creative individual, striving to overcome patterns and formalism in the teaching process [1]. Thus, the primary goal of modern teacher education is to train competent and creative educators who are capable not only of applying knowledge

and skills in practice, but also of making original decisions in their professional activity, particularly within the framework of the New Ukrainian School.

It is important to note that the problem of developing individual creativity is at the center of attention in pedagogical systems across various European countries and the United States. Early methods for developing creative thinking were proposed by such scholars as J. Guilford, E. Torrance, R. Crutchfield, and E. De Bono, and have been widely implemented in educational practice. A review of the scientific literature indicates that for a long time creativity was interpreted as synonymous with "creativeness" and was associated primarily with the characteristics of the creative process. The differentiation of this concept and its wider adoption within the academic community occurred only in the twentieth century, largely due to the works of J. Guilford, who introduced the term to denote a high level of intellectual ability characterized by the capacity to solve problems rationally and efficiently, often relying on intuition, and valuing irrationality both in oneself and in others. J. Guilford identified the following core indicators of creativity: the ability to formulate problems, generate a large number of ideas, respond to stimuli in non-standard ways, enhance the perception of an object by adding specific details, and solve problems through analytical and synthetic operations [2].

According to a dictionary of foreign words, the term "creativity" derives from the English "to create" and denotes "an individual's creative orientation, readiness to formulate, accept, and generate fundamentally new ideas and solutions that differ from traditional or generally accepted ones" [3]. In a modern explanatory psychological dictionary, creativity (from the Latin *creatura* – creation) is defined as "the ability to generate unusual ideas, deviate from traditional patterns of thinking, and quickly resolve problem situations" [4]. A dictionary of terms and concepts of contemporary education interprets creativity as "a characteristic feature of a creative personality manifested in transforming the

cultural universe, the ability to produce something new: to find novel solutions to problems, new methods and tools, and to create new artistic products" [5].

An analysis of interpretations of the term "creativity" proposed by Ukrainian scholars demonstrates that it is not possible to provide a single, universally accepted definition of this phenomenon. However, these interpretations can be systematized into several groups: creativity as the ability for creative activity, the rejection of stereotypical thinking, and the presence of a certain level of creative abilities and personal potential; the capacity to comprehend and understand novelty without fear of departing from the familiar; the ability to generate ideas and bring them to concrete practical outcomes; the highest level of an individual's intellectual capabilities; creativity not as an innate trait, but as a holistic process that requires continuous development [6].

In agreement with S. Burchak, creativity is understood as an integrative set of personal qualities that motivate an individual toward creative activity and manifest across various domains of engagement; it is considered a relatively independent factor of giftedness and a condition for self-realization. Creativity is the ability to generate new and original ideas; it constitutes a creative capacity and a necessary motivational foundation for creative activity [6].

The development of learners' creative abilities is a key task of the teacher, the implementation of which involves managing processes of creative inquiry, creating situations that foster creative activity and orientation, and promoting the development of imagination, associative thinking, the ability to discern patterns, and a sustained drive for self-improvement and for solving increasingly complex creative tasks. The key aspects of fostering creativity in learners include the following:

1) identifying students' creative abilities, recognizing the uniqueness of each individual, taking into account their individual and age-related characteristics, and emphasizing each student's creative potential;

2) ensuring a supportive and stimulating educational environment characterized by mutual understanding, encouragement, tolerance, and a positive attitude, where students feel openness and freedom in expressing their ideas;

3) recognizing the importance of and actively promoting the development of creative skills;

4) employing tasks that stimulate interest and foster curiosity, thinking, imagination, fantasy, active cognition, and the creative abilities of learners;

5) applying innovative approaches and educational technologies to support and develop students' creative thinking, including the creation of problem-based and non-standard situations, the use of stimulating tasks, interactive methods, the promotion of collaborative learning, and the implementation of innovative practices;

6) encouraging research-oriented activities and fostering students' initiative and independence in expressing their creative ideas;

7) developing a structured work plan that enables effective planning, systematization, and continuous improvement of learning processes.

One of the most effective instruments for achieving the goals of developing learners' creativity is the use of innovative educational technologies, which ensure positive motivation for knowledge acquisition, activate students' intellectual and volitional functions, create situations of success, and provide favorable conditions for full creative self-realization. Among the innovative approaches examined by researchers, particular attention should be paid to the ideas of interactive learning (proposed by O. Pometun and L. Pyrozhenko), project-based technologies (developed by K. Bakhanov, V. Huzeiev, I. Yermakov, O. Piekhota, and O. Kobernyk), and learner-centered education (advanced by O. Savchenko and S. Podmazin).

The updated content, goals, and objectives of technological education necessitate the application of new teaching technologies, methodological

approaches to organizing the educational process, as well as conscious and creative engagement on the part of the prospective teacher. It should be emphasized that the training of technology teachers is impossible without acquiring experience in project-based technological activity, which is recognized as fundamental in technology lessons in general secondary education institutions. During their studies in higher education institutions, students receive essential psychological, pedagogical, and methodological training. However, in the process of designing and manufacturing project-based products, prospective technology teachers significantly enhance their capacity for independent thinking, learn to solve problems arising during design and production processes, develop their communicative skills, teamwork abilities, and capacity for independent decision-making.

In the context of fostering creativity in prospective technology teachers, project-based learning acquires particular significance. The key aspects that substantiate the implementation of project-based learning in the professional training of students include the following:

1) active learning, as project-based learning involves the acquisition of new knowledge and the search for solutions required for the creation and implementation of projects, thereby contributing to more conscious and in-depth knowledge assimilation and the development of students' cognitive activity;

2) the development of critical thinking, since the design process frequently presents tasks that require analysis, evaluation, and critical reflection;

3) interdisciplinary integration, as educational projects may encompass multiple disciplines, facilitating the synthesis of diverse information and the understanding of interconnections among educational components. This not only enhances the assimilation of theoretical knowledge but also promotes the development of key competencies necessary for future professional activity;

4) the development of communication skills, as group work and interaction with peers within project activities foster communication and collaboration abilities;

5) the application of acquired knowledge, since project work engages students in practical tasks and the application of theoretical knowledge in the process of product creation. Moreover, project activities enhance students' ability to navigate the information space through tasks involving the search for relevant technical and technological information;

6) independence and responsibility, as project work promotes the independent construction of knowledge, develops students' abilities to search for, analyze, and systematize information, and make independent decisions, thereby fostering responsibility and a sense of personal significance;

7) motivation, as projects are typically engaging for students, which positively influences their motivation to learn.

Thus, the overarching goal of implementing project-based learning in the system of training prospective technology teachers is not only the transmission of knowledge, but also the development of flexible skills (soft skills), particularly creativity, which will be valuable in their future professional activity.

The effectiveness of applying project-based learning in the preparation of future technology teachers is determined not only by students' activity, but also by the crucial role of the teacher as a facilitator who organizes the educational process. In the course of organizing students' project activities, the teacher performs a range of functions, each of which plays a significant role in the development of the professional competence of prospective technology teachers, particularly in fostering their creativity. These functions can be considered in more detail as follows:

1) support and encouragement. Creating a positive learning environment and situations of success in which students feel valued, and their initiative and

creativity are recognized. This can be achieved by emphasizing the importance of each student's contribution, supporting their ideas, providing verbal praise, and applying various forms of encouragement;

2) assistance in information search. Teaching students how to identify the most relevant resources for their projects and developing their information-search skills is a key task of the teacher within project-based learning;

3) coordination of work. Effective management of group activities, the distribution of tasks according to students' abilities and interests, monitoring the process, and providing timely support constitute an essential function of the teacher in organizing project-based activities of prospective technology teachers;

4) development of creative thinking. This is achieved by proposing tasks and situations that stimulate students to generate new ideas and solutions;

5) consultative role. Providing guidance to students in addressing complex aspects of tasks and offering necessary explanations;

6) assessment. Objective and well-balanced evaluation of students' work, taking into account both the process and the final outcomes, is an important stage in supporting creative inquiry and its further development and refinement.

In summary, the role of the teacher in the project-based activities of prospective technology teachers is to create conditions conducive to students' creative development by enabling them to realize their potential and independently explore topics of interest. In organizing both individual and collaborative project work, the teacher should foster a supportive and friendly atmosphere, anticipate and prevent potential conflicts, and demonstrate the ability to navigate effectively within an interdisciplinary environment.

When organizing project-based learning for prospective technology teachers, at the introductory stage the teacher acts as an initiator, guiding students' activities in the appropriate direction. Gradually, as learners master the fundamental principles and skills of project work, they are involved in discussing

the project topic and, subsequently, in selecting a specific project. In this way, the independent and research-oriented work of prospective technology teachers is significantly intensified, enabling them to participate not only in the implementation of the project, but also in its planning. In groups where favorable conditions for dialogue and discussion are established, students develop the ability to express and justify their opinions freely, even when these differ from those of the teacher or their peers. Thus, the project method has a positive impact on the development and self-realization of learners. An important aspect in this regard is respect for each student and the creation of conditions that facilitate effective knowledge acquisition, the formation of skills, and the development of personal qualities and competencies.

It should be noted that, in the process of training technology teachers, the implementation of the creative project method occurs primarily within the study of elective courses in the professional training cycle, where the outcome of learning activities in specialized disciplines is typically a project. The content of the elective component of bachelor's degree curricula is generally practice-oriented and is implemented through practical forms and methods of instruction, thereby creating favorable conditions for the application of project-based learning. The main requirements for project-based learning in the preparation of prospective technology teachers, particularly with regard to fostering their creativity, include the following:

- the presence of a problem or task that requires the integration of knowledge and the application of creative inquiry for its solution;
- the theoretical and practical significance of project activities;
- the alternation of different types of independent student work (individual, pair, and group) depending on the nature of the task;
- the identification of the structural components of the project and the formulation of its stage-by-stage outcomes;

- the use of research-based teaching methods, which involve defining the problem, formulating tasks, proposing hypotheses, discussing research methods, conducting empirical investigations, analyzing the obtained data, presenting final results, summarizing findings, making adjustments, and drawing conclusions.

An important criterion for selecting a project topic is its relevance and significance for the student, including personal value as well as its usefulness for the family, academic group, faculty, or community. It is also essential to consider the social orientation of the project or its entrepreneurial potential. Designing and producing an item solely for the purpose of mastering a technology or obtaining a grade is deemed inappropriate. The products created by prospective technology teachers in the course of project activities should have practical application, evoke a sense of pride, and reflect their achievements and creative potential.

Within the educational activities of prospective technology teachers, effective types of projects that contribute to the development of creativity include informational, research, creative, role-playing, and practice-oriented projects. It is advisable to begin students' project work with informational projects, which involve collecting specific information, studying it, analyzing, and synthesizing the obtained data. Such projects are characterized by a well-structured design and systematic guidance throughout the process. Students are encouraged to carefully define the project objectives and relevance, select appropriate methods of data collection (including the study of literature, mass media sources, and empirical methods such as conversations, interviews, and surveys), and plan the processing of information (analysis, synthesis, comparison, argumentation, and drawing conclusions). It is also important to anticipate the expected outcomes and determine the forms of their presentation (e.g., classroom reports, essays, conference presentations, or academic publications).

In contrast to informational projects, creative projects are characterized by the absence of a clearly defined structure and evolve toward achieving a planned outcome. Practice-oriented projects, in turn, have a predetermined result, which may include the production of a tangible product or the provision of a specific service. As for role-playing projects, they involve participants assuming roles determined by the project content. For example, if a project is related to the organization of folk or calendar-based celebrations, students may simulate social and professional interactions complicated by hypothetical situations. However, within such activities, all participants are required to address specific technical and technological tasks defined by the instructor.

Research projects are the most complex, as they must conform to the logic of scientific inquiry and possess a well-developed structure. They include clearly defined aims and objectives, a substantiated relevance of the research subject, and its social significance for each project participant, as well as specified research methods and anticipated outcomes. Depending on the number of participants, projects may be individual, pair-based, or group-based. In terms of duration, they may be short-term (spanning several classes), medium-term (up to one month), or long-term (several months). It is important to note that, in the practice of training prospective technology teachers, mixed types of projects are most commonly encountered.

When organizing students' project activities, it is also essential to establish criteria for assessing the quality of projects. This enhances the effectiveness of project implementation, helps to avoid potential difficulties, and allows for timely adjustments. The final assessment of a creative project not only summarizes students' work but also carries significant educational value.

Conclusions. Thus, the formation of a creative and innovative prospective technology teacher, equipped with well-developed critical thinking and the ability to effectively solve a wide range of professional tasks, is impossible without the

integration of project-based learning into the educational process. This approach contributes to the comprehensive development of students, taking into account not only their academic skills but also their social, communicative, creative, and critical thinking abilities. Project-based learning directs students' attention to identifying real-world problems, the solution of which requires research, the results of which serve as a basis for generating original solutions and their creative implementation. In this way, students are able to bring their learning closer to real-life contexts. The process of project work creates favorable conditions for the development of creativity in prospective technology teachers and for preparing specialists with a high level of professional competence and creative thinking.

References

1. Pavlenko, V.V. (2015). Kreatyvnist uchytelia yak chynnyk rozvytku pedahohichnoi tvorchosti [Teacher's creativity as a factor in the development of pedagogical creativity]. *Formuvannia dydaktychnoi kompetentnosti pedahohiv doshkilnoi ta pochatkovoi osvity – Formation of didactic competence of preschool and primary education teachers,* 145-150 [in Ukrainian].

2. Guilford, J.P. (1958). New frontiers of testing in the discovery and development of human talent. *Seventh Annual Western Regional Conference on Testing Problems* [in English].

3. Slovnyk inshomovnykh sliv [Dictionary of foreign words]. (n.d.) *jnsm.com.ua*. Retrieved from http://www.jnsm.com.ua/cgi-bin/u/book/sis.pl?Article=10483&action=show [in Ukrainian].

4. Shapar, V. B. (2007). *Suchasnyi tlumachnyi psykholohichnyi slovnyk [Modern explanatory psychological dictionary]*. Kharkiv: Prapor [in Ukrainian].

5. Mykhailova, L. M., Pahava, O. V. & Pronina, O. V. (2020). *Slovnyk terminiv i poniat suchasnoi osvity* [Dictionary of terms and concepts of modern education]. Sievierodonetsk [in Ukrainian].

6. Burchak, S. O. (2019). Kreatyvnist maibutnoho vchytelia v zahalnii teorii tvorchosti: teoretychnyi aspect [Creativity of the future teacher in the general theory of creativity: theoretical aspect]. *Innovatsiina pedahohika – Innovative pedagogy*, *18*, 91-95 [in Ukrainian].

Марченко Станіслав Сергійович, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри технологічної і професійної освіти Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка, м. Глухів, Україна, https://orcid.org/0000-0002-4962-1831

Marchenko Stanislav Serhiyovych, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological and Professional Education, Hlukhiv National Pedagogical University named after Oleksandr Dovzhenko, Hlukhiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-4962-1831

ЛАЗЕРНИЙ ГРАВІЮВАЛЬНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ТА ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ

CNC LASER ENGRAVING MACHINE IN TECHNOLOGY LESSONS AS A MEANS OF DEVELOPING STUDENTS' CREATIVE AND DIGITAL COMPETENCIES

Анотація

У статті досліджено можливості використання лазерного гравіювального верстата з числовим програмним керуванням на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти як засобу розвитку творчих і цифрових компетентностей учнів. Обґрунтовано актуальність упровадження цифрового виробничого обладнання в освітній процес у контексті сучасних вимог до технологічної підготовки молоді, розвитку цифрової економіки та підготовки учнів до діяльності в умовах технологічного суспільства. На основі аналізу наукових джерел охарактеризовано освітній потенціал лазерного гравіювального верстата,

окреслено його переваги, обмеження та педагогічно доцільні напрями використання в шкільній практиці. Визначено, що робота з таким обладнанням сприяє розвитку творчих, цифрових, інженерно-технічних, комунікативних і профорієнтаційних умінь учнів, оскільки поєднує цифрове проєктування, матеріалообробку та виготовлення реального виробу. Розкрито основні етапи роботи учнів з лазерним верстатом: підготовку цифрового зображення або макета виробу, добір і підготовку заготовки, налаштування обладнання, виконання гравіювання та опорядження готового виробу. Охарактеризовано можливості застосування лазерного верстата в урочній, позаурочній, проєктній і змішаній формах навчання. Показано, що педагогічно доцільним є використання такого обладнання переважно у старших класах, коли учні мають достатній рівень абстрактного мислення, технологічної підготовки та готовності до дотримання вимог безпеки. Наголошено, що лазерний гравіювальний верстат не повинен витісняти традиційні види ручної праці, а має використовуватися як засіб їх змістового й технологічного розширення. Зроблено висновок, що інтеграція лазерного гравіювального верстата з числовим програмним керуванням в освітній процес сприяє підвищенню якості технологічної підготовки учнів і створює умови для формування компетентностей, актуальних у сучасному цифровому середовищі.

Ключові слова: уроки технологій, лазерний гравіювальний верстат, числове програмне керування, творчі компетентності, цифрові компетентності, проєктна діяльність, цифрове виробництво.

Abstract

The article examines the possibilities of using a laser engraving machine with computer numerical control in technology lessons at general secondary education institutions as a means of developing students' creative and digital

competencies. The relevance of introducing digital manufacturing equipment into the educational process is substantiated in the context of current requirements for the technological training of young people, the development of the digital economy, and the preparation of students for activity in a technologically advanced society. Based on the analysis of scholarly sources, the educational potential of the laser engraving machine is characterized, and its advantages, limitations, and pedagogically appropriate areas of application in school practice are outlined. It is determined that working with such equipment contributes to the development of students' creative, digital, engineering, technical, communicative, and career-oriented skills, since it combines digital design, material processing, and the production of a real object. The main stages of students' work with the laser machine are described, including the preparation of a digital image or product layout, the selection and preparation of the workpiece, equipment setup, engraving, and finishing of the completed product. The possibilities of using the laser machine in classroom-based, extracurricular, project-based, and blended learning formats are characterized. It is shown that the use of such equipment is pedagogically most appropriate in upper secondary school, when students have a sufficient level of abstract thinking, technological preparedness, and readiness to comply with safety requirements. It is emphasized that the laser engraving machine should not replace traditional forms of manual work but should be used as a means of their substantive and technological expansion. It is concluded that the integration of a laser engraving machine with computer numerical control into the educational process contributes to improving the quality of students' technological training and creates conditions for the development of competencies relevant to the contemporary digital environment.

Keywords: technology lessons, laser engraving machine, computer numerical control, creative competencies, digital competencies, project-based activity, digital manufacturing.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток виробництва, цифрової економіки та технологічної освіти висуває нові вимоги до підготовки молоді, зокрема до формування технічних, творчих і цифрових компетентностей ще на рівні загальної середньої освіти. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває використання на уроках технологій сучасного цифрового обладнання, здатного поєднати проєктну діяльність учнів із практичним виготовленням виробів. Одним із таких перспективних засобів є лазерний гравіювальний верстат з числовим програмним керуванням.

Попри значний освітній потенціал лазерного обладнання, його впровадження у практику закладів загальної середньої освіти супроводжується низкою труднощів. Насамперед йдеться про обмежені фінансові можливості щодо придбання та технічного обслуговування відповідного устаткування. Не менш важливою є проблема недостатньої підготовленості вчителів до роботи з верстатами з ЧПК та спеціалізованим програмним забезпеченням. Крім того, у педагогічній практиці ще не сформовано достатньо розробленої методичної бази щодо використання лазерного гравіювального обладнання саме в умовах закладів загальної середньої освіти.

Водночас результати сучасних досліджень засвідчують, що практична діяльність учнів із цифровими виробничими інструментами, зокрема лазерними верстатами, сприяє підвищенню навчальної мотивації, розвитку інженерного мислення, творчих здібностей і формуванню навичок, затребуваних у сучасному технологічному середовищі [2; 3; 6]. Досвід використання подібного обладнання в освітній практиці різних країн підтверджує його значний потенціал у формуванні прикладних, проєктувальних і цифрових умінь учнів [4; 5; 7].

Отже, актуальним є дослідження можливостей використання лазерного гравіювального верстата з ЧПК на уроках технологій як засобу розвитку

творчих і цифрових компетентностей учнів, а також визначення педагогічно доцільних підходів до його впровадження в освітній процес закладів освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема інтеграції цифрових виробничих технологій у освітній процес привертає дедалі більшу увагу дослідників у галузі технологічної освіти, STEM-освіти та професійної підготовки.

Koprda та ін. [1] досліджували можливості створення бюджетного прототипу лазерного гравіювального верстата з ЧПК на платформі Arduino. Автори довели, що використання відкритих апаратних платформ дає змогу істотно зменшити вартість обладнання без суттєвого зниження якості обробки матеріалів, що відкриває перспективи для впровадження таких верстатів у закладах освіти з обмеженим фінансуванням.

Cai та Chiang [2] розробили й апробували STEM-курс для учнів старшої школи, у центрі якого було використання лазерного різака. Упродовж дев'ятитижневого навчання учні продемонстрували позитивну динаміку в розвитку інженерного мислення та вмінь розв'язувати технічні задачі. Дослідники встановили, що практична робота з лазерним обладнанням спонукає учнів до застосування елементів інженерного проєктування, зокрема ескізування, моделювання, тестування та вдосконалення виробів.

Soomro та ін. [3] у систематичному огляді літератури щодо ролі освітніх просторів технічної творчості у STEM-освіті з'ясували, що використання цифрових виробничих інструментів, зокрема лазерних різаків і 3D-принтерів, істотно впливає на формування інноваційного мислення, технологічної самоефективності та дизайнерських навичок учнів.

Kurniawan та Wijanarka [4] проаналізували здатність учнів профільних закладів освіти Індонезії розробляти програми для верстатів з ЧПК. Отримані результати показали, що практичні заняття з ЧПК-обладнанням

сприяють розвитку не лише технічних умінь, а й просторового, алгоритмічного мислення, уважності до деталей і здатності працювати з технологічними параметрами.

Eldebeky [5], досліджуючи вплив різних освітніх просторів технічної творчості на навчання учнів старшої школи, дійшов висновку, що робота з таким цифровим обладнанням позитивно впливає на концептуальне розуміння, навчальну залученість і готовність учнів до майбутньої професійної діяльності.

Wahid та ін. [6] розробили модель навчання технології лазерного гравіювання для учнів профільних закладів освіти. Дослідники довели, що безпосередня практична робота з лазерним гравером є ефективнішою, ніж опосередковане навчання через відеоматеріали, оскільки забезпечує вищий рівень залученості й кращі навчальні результати.

Shkitsa та ін. [7] описали досвід створення інноваційних навчально-виробничих лабораторій із цифровими технологіями в технічному університеті. Автори наголошують на важливості поєднання теоретичної підготовки з практичною діяльністю на сучасному обладнанні для формування конкурентоспроможних фахівців.

Аналіз наведених досліджень дає підстави стверджувати, що використання лазерного гравіювального обладнання в освітньому процесі має значний потенціал для розвитку технічних, творчих і цифрових умінь учнів. Водночас питання методики застосування лазерного гравіювального верстата з ЧПК саме на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти залишається недостатньо опрацьованим, що й зумовлює актуальність цієї статті.

Мета статті полягає у дослідженні можливостей використання лазерного гравіювального верстата з числовим програмним керуванням на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти як засобу розвитку

творчих і цифрових компетентностей учнів на основі аналізу й узагальнення сучасних наукових підходів до використання цифрового виробничого обладнання в освіті.

Виклад основного матеріалу. Лазерний гравіювальний верстат з числовим програмним керуванням є сучасним цифровим обладнанням, що поєднує можливості лазерної обробки матеріалів із точністю комп'ютерного керування. Принцип його роботи полягає у переміщенні лазерного випромінювача за заданою програмою по поверхні заготовки, унаслідок чого відбувається гравіювання або різання матеріалу з високою точністю [1].

Конструктивно такий верстат складається зі станини, на якій розміщується оброблювана заготовка, і рухомої частини – каретки з лазерним модулем, що переміщується кроковими двигунами у двох координатних напрямах. Керування верстатом здійснюється через плату керування, підключену до персонального комп'ютера. Для навчальних цілей найчастіше використовують компактні моделі з відносно невеликим робочим полем і помірною потужністю лазера, що дає змогу застосовувати їх у майстернях за умови дотримання вимог безпеки [1].

До переваг лазерного гравіювального верстата з ЧПК в освітньому процесі належать висока точність і повторюваність обробки, можливість працювати з різними матеріалами, поєднання цифрового проєктування з реальним виготовленням виробів, а також достатньо широкий спектр навчальних завдань, які можна реалізувати за його допомогою. Водночас використання такого обладнання потребує належної організації робочого простору, дотримання правил техніки безпеки, а також попереднього опанування спеціалізованого програмного забезпечення.

Освітній потенціал лазерного гравіювального верстата з ЧПК полягає не лише у технічній новизні обладнання, а передусім у тих видах діяльності, які він дає змогу організувати на уроках технологій. Робота з таким

верстатом передбачає проходження учнями повного циклу створення виробу – від виникнення задуму й цифрового проєктування до виготовлення, оцінювання результату та його вдосконалення. Саме ця цілісність діяльності робить лазерний верстат педагогічно значущим засобом формування компетентностей.

Передусім ідеться про розвиток творчих компетентностей. Робота з лазерним верстатом стимулює учнів до самостійного проєктування виробів, пошуку композиційних рішень, добору форм, декоративних елементів, орнаментів і способів оздоблення. Учні не лише відтворюють готові зразки, а й отримують можливість втілювати власні ідеї у матеріалі, експериментувати з варіантами оформлення та оцінювати естетичні якості кінцевого результату. Дослідження свідчать, що можливість швидко побачити матеріалізований результат власного задуму суттєво підвищує навчальну мотивацію та впевненість учнів у власних силах [3; 5].

Важливим є і розвиток цифрових компетентностей. Підготовка файлів для лазерного гравіювання вимагає роботи у векторних і растрових графічних редакторах, зокрема Inkscape, CorelDraw, Adobe Illustrator та інших. Це формує в учнів практичні вміння цифрового проєктування, розуміння форматів графічних файлів, принципів роботи з векторною графікою, а також взаємозв’язку між цифровою моделлю та фізичним результатом обробки. Паралельно учні опановують базові уявлення про CAD-проєктування, логіку передавання команд від програмного забезпечення до обладнання й технологічні особливості цифрового виробництва [2; 7].

Не менш значущим є формування інженерно-технічних компетентностей. Налаштування параметрів роботи верстата – швидкості переміщення каретки, потужності лазерного випромінювання, кількості проходів – вимагає від учнів розуміння технічних залежностей, здатності

аналізувати властивості матеріалу та прогнозувати результат обробки. У цьому контексті учні навчаються розв'язувати прикладні інженерні задачі: добирати оптимальні режими роботи, виявляти причини помилок, коригувати конструкцію виробу та вдосконалювати технологію його виготовлення [2; 4].

Робота з лазерним обладнанням також створює умови для розвитку соціальних і комунікативних компетентностей. Проєктна діяльність на уроках технологій нерідко має груповий характер: учні спільно обговорюють ідеї, розподіляють обов'язки, погоджують послідовність дій, взаємодіють під час виконання окремих технологічних операцій. Така організація діяльності сприяє формуванню навичок співпраці, відповідальності за спільний результат і вміння презентувати створений продукт. Як показують дослідження, робота в середовищі, де використовується лазерне обладнання, може підвищувати соціально-емоційну залученість учнів до навчання [5].

Окремої уваги заслуговує профорієнтаційний потенціал лазерного гравіювального верстата з ЧПК. Ознайомлення учнів із технологіями цифрового виробництва дає змогу розширити їхні уявлення про сучасні технічні професії, пов'язані з інженерією, дизайном, меблевим виробництвом, рекламною продукцією, прототипуванням, автоматизованою обробкою матеріалів. Практична взаємодія з таким обладнанням сприяє усвідомленню прикладного значення навчального матеріалу та можливих напрямів подальшого професійного самовизначення [6].

Разом із тим важливо підкреслити, що лазерний гравіювальний верстат з ЧПК не повинен розглядатися як заміна традиційній ручній праці учнів. Ручна обробка матеріалів має самостійну педагогічну цінність, оскільки сприяє розвитку дрібної моторики, тактильного сприйняття, терпіння, акуратності, наполегливості та культури праці. У зв'язку з цим цифрове обладнання доцільно трактувати не як альтернативу традиційним видам

технологічної діяльності, а як засіб їх доповнення та розширення. Саме у такому поєднанні найповніше розкривається освітній потенціал лазерного верстата.

З огляду на вікові особливості учнів, вимоги безпеки та необхідність попередньої технологічної підготовки найбільш доцільним видається використання лазерного гравіювального верстата з ЧПК переважно у старших класах. Учні цього віку, як правило, мають вищий рівень абстрактного та просторового мислення, здатні працювати з цифровими моделями, усвідомлено дотримуватися правил техніки безпеки та виконувати завдання, що вимагають поєднання проєктувальної, технічної й практичної діяльності. Крім того, на цьому етапі навчання значно посилюється профорієнтаційна функція технологічної освіти, а тому ознайомлення з цифровим виробничим обладнанням набуває особливого значення [4; 5; 6].

Технологія роботи учнів з лазерним гравіювальним верстатом з ЧПК передбачає послідовне виконання кількох етапів, кожен з яких має окреме навчальне значення. Першим етапом є розроблення та підготовка зображення або конструкції виробу. На цьому етапі учні створюють чи добирають графічний файл, працюють у графічних редакторах, опановують відмінності між векторною й растровою графікою, а також готують файл до подальшої обробки [2; 7].

Другим етапом є підготовка заготовки. Для лазерного гравіювання можуть використовуватися фанера, деревина, картон, шкіра, пластик, папір та інші матеріали, придатні для обробки відповідним типом обладнання. Учні повинні підготувати поверхню заготовки, очистити її від пилу, а за потреби – здійснити шліфування чи інші попередні операції. Цей етап є важливим, оскільки підкреслює нерозривний зв’язок цифрового виробництва з традиційною матеріалообробкою.

Третій етап передбачає налаштування верстата й позиціювання заготовки. Учні розміщують заготовку на робочому столі, задають положення лазера, встановлюють основні параметри роботи – швидкість, потужність, інтенсивність випромінювання, кількість проходів. Саме тут особливо активно формуються технічні вміння, уважність до деталей і здатність прогнозувати технологічний результат [1; 4].

Четвертий етап – безпосереднє виконання гравіювання або різання. Після запуску програми верстат працює автономно відповідно до заданого файлу, а учні здійснюють спостереження за процесом, контролюють його безпечність і оцінюють проміжний результат. На цьому етапі важливо не лише дотримуватися правил безпеки, а й розуміти причинно-наслідкові зв’язки між цифровими налаштуваннями та якістю обробки.

П’ятий етап пов’язаний з опорядженням виробу. Учні очищують поверхню від продуктів горіння, за потреби виконують складання елементів, лакування чи інші оздоблювальні операції. Таким чином завершується повний цикл створення виробу, а учні переконуються, що якісний кінцевий результат залежить не лише від цифрової точності обладнання, а й від культури виконання ручних операцій.

Лазерний гравіювальний верстат з ЧПК відкриває широкі можливості для організації творчої проєктної діяльності учнів. У межах декоративно-прикладного напряму можна виготовляти шкатулки з орнаментальним гравіюванням, декоративні панно, серветниці, підставки під чашки, вішалки для ключів та інші вироби, що поєднують цифрову обробку з ручним опорядженням. У межах сувенірного напряму можливе створення іменних табличок, брелоків, магнітів, закладок для книг тощо. Такі вироби є цінними в мотиваційному плані, оскільки мають персоналізований і практично значущий характер [6].

Перспективним є також навчально-дидактичний напрям, у межах якого

учні можуть виготовляти пазли, головоломки, навчальні схеми, інформаційні таблички для кабінетів, елементи наочності для молодших класів. Подібна діяльність надає проєктам додаткової соціальної значущості та сприяє формуванню відповідальності за результат праці [5]. Ще одним напрямом є створення елементів настільних ігор, ігрових полів, фішок, авторських комплектів для дозвілля, що потребує від учнів поєднання технічного, композиційного та системного мислення.

Використання лазерного верстата може бути ефективним у різних формах організації освітнього процесу. В урочній діяльності він доцільний для ознайомлення з будовою та принципом роботи обладнання, правилами безпеки, основами підготовки файлів і виконання нескладних практичних завдань. У позаурочній діяльності, зокрема в гуртках технічної творчості, факультативах і STEM-об’єднаннях, з’являються ширші можливості для опанування спеціалізованого програмного забезпечення, виконання складніших проєктів і тривалішого експериментування з матеріалами та режимами роботи [2].

Значний потенціал має проєктна форма організації навчання. Індивідуальні проєкти дають змогу кожному учневі реалізувати власну ідею, тоді як групові проєкти сприяють розвитку співпраці, комунікації й розподілу функцій у спільній діяльності. Особливо цінними є проєкти з практичним результатом, орієнтованим на потреби освітнього середовища, оскільки вони підсилюють мотивацію учнів і допомагають пов’язати навчання з реальним життям [2; 5].

Додаткові можливості відкриває змішане навчання. Підготовка графічних файлів, ескізів і проєктних рішень може здійснюватися учнями вдома за допомогою доступного програмного забезпечення, тоді як безпосередня робота з верстатом відбувається у майстерні під керівництвом учителя. Такий підхід забезпечує раціональне використання часу уроку й дає

змогу зосередити практичну діяльність у школі саме на роботі з обладнанням та аналізі технологічного результату [2; 7].

Таким чином, лазерний гравіювальний верстат з ЧПК доцільно розглядати не лише як технічний засіб, а як педагогічний інструмент, що поєднує проєктування, цифрове моделювання, матеріалообробку, творчість і практичне виготовлення виробів. Його ефективність у навчальному процесі визначається не самим фактом наявності обладнання, а методично виваженою організацією роботи учнів, поєднанням цифрових і традиційних технологій, а також спрямованістю навчання на формування компетентностей, значущих для сучасного технологічного суспільства.

Висновки. Проведене дослідження дає підстави стверджувати, що лазерний гравіювальний верстат з числовим програмним керуванням має значний освітній потенціал у системі технологічної підготовки учнів закладів загальної середньої освіти.

На основі аналізу наукових джерел і теоретичного узагальнення підходів до використання цифрового виробничого обладнання в освіті встановлено, що застосування лазерного гравіювального верстата з ЧПК сприяє розвитку творчих і цифрових компетентностей учнів, а також позитивно впливає на формування інженерно-технічних, комунікативних і профорієнтаційних умінь. Освітня цінність цього обладнання полягає у можливості поєднувати цифрове проєктування з реальним виготовленням виробів, що забезпечує цілісний характер навчальної діяльності.

Обґрунтовано, що педагогічно доцільне використання лазерного гравіювального верстата з ЧПК передбачає його інтеграцію у проєктну діяльність учнів, поєднання урочних і позаурочних форм роботи, дотримання вимог безпеки, а також опору на вже сформовані базові вміння ручної обробки матеріалів. У цьому контексті найбільш перспективним є застосування такого обладнання переважно у старших класах, де учні мають

достатній рівень готовності до поєднання проєктувальної, технічної та практичної діяльності.

Показано, що лазерний верстат з ЧПК не повинен витісняти традиційні види ручної праці, а має використовуватися як засіб їх змістового й технологічного розширення. Саме поєднання цифрових і традиційних технологій забезпечує найбільш повну реалізацію його освітнього потенціалу.

Перспективи подальших досліджень пов’язані з розробленням цілісної методики навчання учнів роботі з лазерним гравіювальним верстатом з ЧПК, створенням системи практичних завдань різного рівня складності, визначенням критеріїв оцінювання навчальних досягнень, а також із вивченням можливостей інтеграції лазерних технологій у міжпредметні STEM-проєкти та систему підготовки вчителів технологій до роботи з цифровим виробничим обладнанням.

Література

1. Koprda Š., Balogh Z., Magdin M., Reichel J., Molnár G. The possibility of creating a low-cost laser engraver CNC machine prototype with platform Arduino. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2020. Vol. 17, No. 9. P. 181–198. DOI: https://doi.org/10.12700/APH.17.9.2020.9.10

2. Cai R., Chiang F. A laser-cutting-centered STEM course for improving engineering problem-solving skills of high school students in China. *STEM Education*. 2021. Vol. 1, No. 3. P. 199–224. DOI: https://doi.org/10.3934/steme.2021015

3. Soomro S. A., Casakin H., Nanjappan V., Georgiev G. V. Makerspaces fostering creativity: a systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*. 2023. Vol. 32, No. 4. P. 530–548. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-023-10041-4

4. Kurniawan R., Wijanarka B. S. Analysis of the ability to develop CNC machine part programs for vocational high school students in Indonesia. *European Journal of Education and Pedagogy*. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 59–63. DOI: https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.4.715

5. Eldebeky S. M. *How state-of-the-art makerspace stations contribute to differences in students' learning: a mixed methods case study of a bilingual high school in Kuwait* : doctoral dissertation / Lancaster University. Lancaster, 2023. DOI: https://doi.org/10.17635/lancaster/thesis/2006

6. Jap Tji Beng, Sri Tiatri, Margareta Zheng, Rahmiyana Nurkholiza, Vienchenzia Dinatha, Tasya Mulia Salsabila. Development of a training model on the use of laser engraving technology for vocational high school female students in semi-urban areas: gender equality in education. *TEM Journal*. 2025. Vol. 14, No. 2. P. 1860–1866. DOI: https://doi.org/10.18421/TEM142-82

7. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Kornuta V., Deinega I., Boiko N. Innovative educational and production laboratories at the technical university. *Digital Technologies in Education* / eds. R. Shchokin, A. Iatsyshyn, V. Kovach, A. Zaporozhets. Cham : Springer, 2024. P. 67–81. (Studies in Systems, Decision and Control ; vol. 529). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57422-1_6

References

1. Koprda, Š., Balogh, Z., Magdin, M., Reichel, J., & Molnár, G. The possibility of creating a low-cost laser engraver CNC machine prototype with platform Arduino. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2020, vol. 17, no. 9, pp. 181–198. DOI: https://doi.org/10.12700/APH.17.9.2020.9.10

2. Cai, R., & Chiang, F. A laser-cutting-centered STEM course for improving engineering problem-solving skills of high school students in China. *STEM Education*, 2021, vol. 1, no. 3, pp. 199–224. DOI: https://doi.org/10.3934/steme.2021015

3. Soomro, S. A., Casakin, H., Nanjappan, V., & Georgiev, G. V. Makerspaces fostering creativity: a systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 2023, vol. 32, no. 4, pp. 530–548. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-023-10041-4

4. Kurniawan, R., & Wijanarka, B. S. Analysis of the ability to develop CNC machine part programs for vocational high school students in Indonesia. *European Journal of Education and Pedagogy*, 2023, vol. 4, no. 4, pp. 59–63. DOI: https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.4.715

5. Eldebeky, S. M. *How state-of-the-art makerspace stations contribute to differences in students' learning: a mixed methods case study of a bilingual high school in Kuwait*. Doctoral dissertation. Lancaster University, 2023. DOI: https://doi.org/10.17635/lancaster/thesis/2006

6. Jap Tji Beng, Sri Tiatri, Margareta Zheng, Rahmiyana Nurkholiza, Vienchenzia Dinatha, & Tasya Mulia Salsabila. Development of a training model on the use of laser engraving technology for vocational high school female students in semi-urban areas: gender equality in education. *TEM Journal*, 2025, vol. 14, no. 2, pp. 1860–1866. DOI: https://doi.org/10.18421/TEM142-82

7. Shkitsa, L., Yatsyshyn, T., Kornuta, V., Deinega, I., & Boiko, N. Innovative educational and production laboratories at the technical university. In: R. Shchokin, A. Iatsyshyn, V. Kovach, & A. Zaporozhets (Eds.), *Digital Technologies in Education*. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 529. Cham: Springer, 2024, pp. 67–81. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57422-1_6

Opaets Mariana, student of higher medical education**,** Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Pecheriaha Svitlana, PhD, assistant Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-3884-9109

HEMATOLOGICAL AND COAGULATION CHANGES IN PHYSIOLOGICAL PREGNANCY

Abstract

The article presents a generalization of contemporary scientific data on hematological and coagulation changes during physiological pregnancy. It is shown that pregnancy is accompanied by significant adaptive alterations in the blood system, which ensure optimal conditions for fetal development, maintenance of placental circulation, and preparation of the maternal body for childbirth. The main components of these changes are highlighted, including hemodilution, physiological anemia of pregnancy, increased activity of the coagulation system, changes in platelet functional status, and features of fibrinolytic activity. It is noted that an increase in plasma volume by 40–50% leads to a relative decrease in hemoglobin and hematocrit levels, which is considered physiological anemia. The formation of a hypercoagulable state is described, обусловлене by increased levels of fibrinogen and coagulation factors (VII, VIII, X) and decreased activity of natural anticoagulants. It is emphasized that these changes are adaptive in nature; however, they are associated with an increased risk of thrombosis. The characteristics of the platelet component of hemostasis are analyzed, particularly the combination of a moderate decrease in platelet count with increased functional activity. It is shown that an imbalance between the coagulation and fibrinolytic systems may contribute to the development of

gestational complications. The important role of hormonal, endothelial, and immune mechanisms in the regulation of hemostasis during pregnancy and the necessity of considering them in clinical practice are emphasized.

Keywords: physiological pregnancy, fibrinolysis, gestational anemia, hypercoagulability, platelets, hemostasis.

Problem statement. Physiological pregnancy is accompanied by complex and multilevel changes in the blood system and hemostasis, which are adaptive in nature and aimed at ensuring normal fetal development, maintaining effective uteroplacental circulation, and preparing the woman's body for childbirth. One of the key features is the restructuring of hematological parameters and the formation of a state of relative hypercoagulability, which is necessary to prevent excessive blood loss during delivery [1].

At the same time, these physiological changes significantly complicate the clinical interpretation of laboratory parameters, since the boundary between normal and pathological conditions is rather conditional. In particular, conditions such as hemodilution, physiological anemia of pregnancy, or increased coagulation parameters may be misinterpreted as pathological or, conversely, may mask the development of complications. This creates difficulties for the timely diagnosis of disorders, including anemia, thrombophilic conditions, and thromboembolic complications.

Of particular importance is the problem of differentiating physiological adaptations from pathological changes, as an imbalance between the coagulation and fibrinolytic systems may lead to the development of severe gestational complications, including preeclampsia, placental insufficiency, and venous thromboembolism. In addition, the lack of clear pregnancy-specific reference values for certain laboratory parameters complicates the standardization of diagnostic approaches [7].

Thus, an in-depth study of hematological and coagulation changes during physiological pregnancy, as well as their clinical significance, is important for improving diagnostic efficiency, preventing complications, and optimizing the management of pregnant women.

Analysis of recent research and publications. Contemporary scientific studies indicate that physiological pregnancy is accompanied by complex changes in the hematological and coagulation systems, which are adaptive in nature and aimed at ensuring the normal course of gestation and childbirth [1–3]. The literature emphasizes that these changes result from the interaction of endocrine, vascular, and immune mechanisms.

Recent publications confirm that hemodilution and physiological anemia are normal components of pregnancy; however, they remain important subjects of differential diagnosis with pathological conditions [4–6]. Considerable attention is paid to iron deficiency as one of the most common complications affecting the course of pregnancy and perinatal outcomes [5].

In modern studies, pregnancy is considered a state of physiological hypercoagulability characterized by increased activity of coagulation factors and decreased fibrinolytic activity [7–9]. At the same time, an increased risk of thromboembolic complications is emphasized, especially in the presence of additional risk factors [9].

Particular attention is given to changes in the platelet component of hemostasis, including the combination of a moderate decrease in platelet count with increased functional activity [10–11]. The role of the endothelium, placenta, and immune mechanisms in the regulation of hemostasis and the development of gestational complications is also actively studied [16-18].

Despite the significant body of research, unresolved issues remain regarding the standardization of reference values for laboratory parameters during pregnancy and the improvement of approaches to the early diagnosis of hemostatic disorders.

Purpose of the article. To summarize current scientific data on hematological and coagulation changes during physiological pregnancy, their pathophysiological mechanisms, and clinical significance.

Presentation of the main material of the study. During pregnancy, plasma volume increases by approximately 40–50%, whereas erythrocyte mass increases to a lesser extent - by 20-30%, which leads to relative “dilution” of the blood [2].

Such changes are adaptive in nature, as decreased blood viscosity improves placental perfusion and enhances the transport of oxygen and nutrients to the fetus [3]. As a result, hemoglobin and hematocrit levels decrease, which clinically manifests as physiological anemia of pregnancy - a condition considered a variant of normal and reflecting maternal adaptation [4].

At the same time, in some pregnant women anemia becomes pathological, most often due to iron deficiency. Increased maternal demands associated with fetal and placental development, expansion of erythrocyte mass, and hormonal changes contribute to depletion of iron stores and the development of varying degrees of deficiency [5]. It has been established that iron deficiency may negatively affect intrauterine development, increase the risk of preterm birth and fetal growth restriction, and impair neuropsychological development of the fetus [6].

Therefore, timely diagnosis, particularly the assessment of ferritin levels, and early correction of iron deficiency in accordance with current clinical guidelines are of great importance [7]. It is also essential to perform differential diagnosis between physiological anemia and other forms, particularly megaloblastic anemia associated with folate or vitamin B12 deficiency, as management approaches and potential complications differ significantly [8].

Pregnancy is accompanied by the development of a physiological hypercoagulable state, which evolves gradually and reaches its maximum in the third trimester. Increased levels of fibrinogen, coagulation factors VII, VIII, and

X, as well as enhanced activity of von Willebrand factor, contribute to effective hemostatic protection during childbirth, when blood loss is physiologically inevitable [9]. At the same time, fibrinolytic activity decreases, particularly due to increased levels of plasminogen activator inhibitor (PAI-1), which leads to greater resistance of fibrin clots to lysis [10].

This balance between coagulation and fibrinolysis is adaptive, as it prevents excessive blood loss. However, it also creates conditions for increased thrombosis, explaining the more than fourfold rise in the risk of venous thromboembolism during pregnancy and the postpartum period [11]. In contemporary literature, pregnancy is considered a controlled but potentially high-risk hypercoagulable state, especially in the presence of additional factors such as obesity, thrombophilia, hypertension, or prolonged immobilization [12].

Hematological changes also involve the platelet component of hemostasis. In most pregnant women, a moderate decrease in platelet count is observed alongside increased functional activity. This condition, known as gestational thrombocytopenia, occurs in approximately 5–10% of cases and is usually mild and asymptomatic [13]. Platelet counts typically do not fall below 100×10^9/L and are not associated with pathological conditions such as immune thrombocytopenia or HELLP syndrome [14].

Increased platelet aggregability is associated with hormonal changes and enhanced expression of membrane glycoproteins, contributing to the formation of more stable thrombi [15]. This has important clinical implications, as the effectiveness of primary hemostasis during childbirth largely depends on the interaction between platelets and coagulation factors [16].

Additionally, pregnancy is associated with changes in the megakaryocytic lineage and platelet lifespan. Under the influence of estrogens and placental hormones, the proportion of younger, more functionally active platelets with

increased aggregative capacity rises [17]. These changes are adaptive and aimed at ensuring rapid hemostatic response to vascular injury during delivery [18].

At the same time, a marked decrease in platelet count or the appearance of atypical forms should be considered pathological findings requiring further evaluation, as they do not correspond to the physiological changes of pregnancy [19].

The hemostatic system during pregnancy functions in close interaction with the vascular endothelium, the placenta, and immune mechanisms. The placenta serves as an active source of tissue factor, which initiates the extrinsic coagulation pathway and forms a local hypercoagulable environment necessary for proper implantation and stable functioning of the placental complex [17]. At the same time, compensatory mechanisms are activated to limit excessive systemic coagulation, including increased levels of thrombomodulin and changes in protein C activity [18].

Disruption of this delicate balance underlies the development of gestational complications, primarily preeclampsia, which is characterized by endothelial dysfunction, reduced uteroplacental perfusion, and increased thrombogenesis [19]. According to current concepts, a key role in the pathogenesis of this condition is played by an imbalance between platelet activation, the coagulation system, and suppression of fibrinolysis [20].

The endothelium during pregnancy also undergoes functional remodeling, which significantly affects hemostatic balance. Under the influence of placental hormones, the synthesis of vasoactive substances, particularly nitric oxide and prostacyclin, increases, ensuring vasodilation and reducing platelet aggregation [20]. At the same time, the production of endothelin-1 and adhesion molecules increases, forming a complex regulatory system between anti-inflammatory and prothrombotic factors [21]. Disruption of this balance, especially under conditions of oxidative stress or placental dysfunction, may shift hemostasis toward

hypercoagulation and lead to complications ranging from preeclampsia to disseminated intravascular coagulation in severe cases [22].

Hemostatic changes are dynamic and depend on gestational age. In the first trimester, immune and endothelial adaptations predominate, whereas in the second and third trimesters, the most pronounced changes occur in the coagulation and fibrinolytic systems [23]. In late pregnancy, a significant increase in fibrinogen levels and activity of factors VII and VIII is observed, providing the so-called “hemostatic readiness” for delivery [24]. At the same time, structural modification of the fibrin clot occurs—it becomes denser and more resistant to fibrinolysis, which has a protective role in preventing excessive blood loss [25]. In combination with reduced fibrinolytic activity, this creates a specific hemostatic state unique to pregnancy.

Physiological changes in the coagulation system are also reflected in laboratory parameters, which may complicate their interpretation. For example, fibrinogen levels during pregnancy may reach 5–6 g/L, which outside pregnancy would be considered pathological but represents a normal variant during gestation [21]. D-dimer levels increase progressively throughout pregnancy and should not be interpreted as a sign of thrombosis in the absence of clinical symptoms. Similarly, activated partial thromboplastin time may be slightly shortened due to increased coagulation activity [22].

Therefore, for accurate assessment of hemostasis, it is necessary to use pregnancy-specific reference values, especially in patients at increased risk of thromboembolic complications [23].

The interaction between the coagulation and immune systems during pregnancy has become the subject of numerous recent studies. It has been established that proinflammatory cytokines, particularly interleukin-6 and tumor necrosis factor-α, can modulate the expression of tissue factor and influence thrombogenesis [24]. This partly explains the increased risk of thrombotic

complications in pregnant women with infections, gestational diabetes, or autoimmune diseases. Moreover, it has been shown that an imbalance between proinflammatory and anti-inflammatory mechanisms may alter the structure of fibrin and the stability of the clot, thereby affecting the course of pregnancy [25].

According to current concepts, hematological and coagulation changes during pregnancy should be considered as a complex integrated system of adaptations that includes hormonal, immune, vascular, and hemostatic mechanisms. The coordinated interaction of these processes ensures proper fetal development, maintenance of effective placental circulation, and readiness of the maternal body for physiological blood loss during childbirth [25]. At the same time, recent studies emphasize that even minor disturbances in this balance may lead to the development of clinically significant complications—from anemic conditions to thromboembolic events—which substantiates the need for careful monitoring of pregnant women throughout the entire gestational period.

Conclusions. Physiological pregnancy is accompanied by complex hematological and coagulation changes that are adaptive in nature and aimed at ensuring optimal conditions for fetal development, maintaining effective placental circulation, and preparing the maternal body for childbirth. The main components of these changes include hemodilution, physiological anemia, the formation of a hypercoagulable state, and functional remodeling of the platelet component of hemostasis.

It has been established that the balance between the coagulation and fibrinolytic systems is critically important for the normal course of pregnancy, while its disturbance may lead to the development of gestational complications, including preeclampsia, thromboembolic conditions, and placental insufficiency. Endothelial, hormonal, and immune mechanisms play a significant role in the regulation of hemostasis, and their interaction determines the stability of this balance.

Despite the physiological nature of most changes, they may complicate the clinical interpretation of laboratory parameters, which necessitates the use of pregnancy-specific reference values and an individualized approach to patient assessment. Thus, a deep understanding of the mechanisms of hematological and coagulation changes during pregnancy is essential for timely diagnosis of possible disorders, prevention of complications, and optimization of the management of pregnant women.

References

1. Bergmann, F., & Rath, W. (2015). The Differential Diagnosis of Thrombocytopenia in Pregnancy. *Deutsches Arzteblatt international*, *112*(47), 795–802. https://doi.org/10.3238/arztebl.2015.0795

2. Othman, M., Santamaría Ortiz, A., Cerdá, M., Erez, O., Minford, A., Obeng-Tuudah, D., Blondon, M., Bistervels, I., Middeldorp, S., & Abdul-Kadir, R. (2019). Thrombosis and hemostasis health in pregnancy: Registries from the International Society on Thrombosis and Haemostasis. *Research and practice in thrombosis and haemostasis*, *3*(4), 607–614. https://doi.org/10.1002/rth2.12243

3. Babker, A.M., & Elnaim, E.O.D. (2020). Hematological Changes During All trimesters in Normal Pregnancy. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 10*(2), 1-4. http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v10i2.3958

4. Soma-Pillay, P., Nelson-Piercy, C., Tolppanen, H., & Mebazaa, A. (2016). Physiological changes in pregnancy. *Cardiovascular journal of Africa*, *27*(2), 89–94. https://doi.org/10.5830/CVJA-2016-021

5. Pavord, S., Daru, J., Prasannan, N., Robinson, S., Stanworth, S., Girling, J., & on behalf of the BSH Committee (2020). UK guidelines on the management of iron deficiency in pregnancy. *Br J Haematol*, *188*, 819-830. https://doi.org/10.1111/bjh.16221

6. Peña-Rosas, J. P., De-Regil, L. M., Garcia-Casal, M. N., & Dowswell, T. (2015). Daily oral iron supplementation during pregnancy. *The Cochrane database of systematic reviews*, *2015*(7), CD004736. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004736.pub5

7. Tlamçani, I., El Mouh, N., Amrani, K., & Amrani Hassani, M. (2018). Pregnancy and Hemostasis: From Physiology to Pathological States. *Clin Res Hematol*, *1*(1), 1-7.

8. Patel, S.N., Shander, A. (2020). Physiology and Pathology of Coagulation in Pregnancy. In: Einav, S., Weiniger, C.F., & Landau, R. (eds) Principles and Practice of Maternal Critical Care. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43477-9_5

9. Varrias, D., Spanos, M., Kokkinidis, D. G., Zoumpourlis, P., & Kalaitzopoulos, D. R. (2023). Venous Thromboembolism in Pregnancy: Challenges and Solutions. *Vascular health and risk management*, *19*, 469–484. https://doi.org/10.2147/VHRM.S404537

10. Wang, W., Dai, Q., Pan, L., Zhang, H., & Wang, Y. (2024). Reference Levels of Plasma D-dimer for Normal Pregnant and Their Association with Pregnancy Complications: A Single-center Retrospective Analysis. *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*. https://doi.org/10.31083/j.ceog5111256

11. Maconi, M., Cardaropoli, S., & Cenci, A. M. (2012). Platelet parameters in healthy and pathological pregnancy. *Journal of clinical laboratory analysis*, *26*(1), 41–44. https://doi.org/10.1002/jcla.20502

12. So, H., Kwon, K., Jung, S., & Kim, K. (2025). Physiological Changes and Trimester-Specific Reference Intervals for Complete Blood Count Parameters in Korean Pregnant Women. *Medicina*, *61*(9), 1665. https://doi.org/10.3390/medicina61091665

13. Sainio, S., Kekomäki, R., Riikonen, S., & Teramo, K. (2000). Maternal thrombocytopenia at term: a population-based study. *Acta obstetricia et gynecologica Scandinavica*, *79*(9), 744–749.

14. Aguree, S., & Gernand, A. D. (2019). Plasma volume expansion across healthy pregnancy: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *BMC pregnancy and childbirth*, *19*(1), 508. https://doi.org/10.1186/s12884-019-2619-6

15. James, D., Steer, P., Weiner, C., Gonik, B., Crowther, C., Robson, S., & Ramsay, M. (2010). Pregnancy and laboratory studies: a reference table for clinicians. *Obstetrics and gynecology*, *115*(4), 868. https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e3181d7131e

16. Abu-Raya, B., Michalski, C., Sadarangani, M., & Lavoie, P.M. (2020). Maternal Immunological Adaptation During Normal Pregnancy. *Front. Immunol. 11*,575197. https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.575197

17. Georgieff M. K. (2020). Iron deficiency in pregnancy. *American journal of obstetrics and gynecology*, *223*(4), 516–524. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.03.006

18. Mihăilă, R. (2020). Coagulation challenges in pregnancy: from thrombophilia involvement and management to the utility of thrombin generation monitoring. *Clin. Exp. Obstet. Gynecol.* , 47(6), 814–820. https://doi.org/10.31083/j.ceog.2020.06.5499

19. Voicu, D. I., Munteanu, O., Gherghiceanu, F., Arsene, L. V., Bohiltea, R. E., Gradinaru, D. M., & Cirstoiu, M. M. (2020). Maternal inherited thrombophilia and pregnancy outcomes. *Experimental and therapeutic medicine*, *20*(3), 2411–2414. https://doi.org/10.3892/etm.2020.8747

20. Sachan, R., Patel, M.L., Vandana, Sachan, P., & Shyam. R. (2021). Role of platelet count and mean platelet volume and red cell distribution width in

the prediction of preeclampsia in early pregnancy. *Journal of Family Medicine and Primary Care, 10*(2), 838-843. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_1528_20

21. Peng, J., Zhao, Q., Pang, W., Li, Y., & Dong, X. (2024). Changes of coagulation function and platelet parameters in preeclampsia and their correlation with pregnancy outcomes. *J Clin Hyperten., 26*, 1181-1187. https://doi.org/10.1111/jch.14893

22. Chandra, S., Tripathi, A. K., Mishra, S., Amzarul, M., & Vaish, A. K. (2012). Physiological changes in hematological parameters during pregnancy. *Indian journal of hematology & blood transfusion : an official journal of Indian Society of Hematology and Blood Transfusion*, *28*(3), 144–146. https://doi.org/10.1007/s12288-012-0175-6

23. Motosko, C. C., Bieber, A. K., Pomeranz, M. K., Stein, J. A., & Martires, K. J. (2017). Physiologic changes of pregnancy: A review of the literature. *International journal of women's dermatology*, *3*(4), 219–224. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2017.09.003

24. Duo, Y., Song, S., Qiao, X., Zhang, Y., Xu, J., Zhang, J., Peng, Z., Chen, Y., Nie, X., Sun, Q., Yang, X, Wang, A., Sun, W., Fu, Y., Dong, Y., Lu, Z., Yuan, T., & Zhao, W. (2024). The Association of Hematological Parameters in Early and Middle Pregnancy with the Risk of Gestational Diabetes Mellitus. *Diabetes Metab Syndr Obes, 17*, 633-646. https://doi.org/10.2147/DMSO.S445927

25. Greer, I.A., & Nelson-Piercy, C. (2024). High-risk hemostasis in pregnancy: clinical review. *N Engl J Med, 390*(4), 356–368. https://doi.org/10.1056/NEJMra2304512

Овсянко Дмитро Сергійович, студент 2 курсу факультету природничої та фізико-математичної освіти, Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, Україна, ORCID ID: 0009-0003-1830-8441

Ананьєва Анастасія Євгенівна, студентка 4 курсу Навчально-наукового інституту філології та історії, Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, Україна, ORCID ID: 0009-0003-9929-9275

Ovsianko Dmytro, 2nd year student, Faculty of Natural Science and Physics-Mathematics Education Oleksandr Dovzhenko, Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine, ORCID ID: 0009-0003-1830-8441

Ananieva Anastasiia, 4th year student, Educational and Research Institute of Philology and History Oleksandr Dovzhenko, Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine, ORCID ID: 0009-0003-9929-9275

АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ ЯК ОСНОВА ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ACADEMIC INTEGRITY AS THE BASIS OF HIGHER EDUCATION QUALITY

Анотація

У статті комплексно досліджено академічну доброчесність як фундаментальний чинник забезпечення якості вищої освіти в Україні. Простежено еволюцію нормативно-правового забезпечення у цій сфері — від Закону України «Про вищу освіту» (2014) та Закону України «Про освіту» (2017) до знакового Закону України «Про академічну доброчесність»

(2025, № 4742-IX), який став першим спеціальним законодавчим актом такого роду в Європейському освітньому просторі. Визначено та охарактеризовано основні види порушень: плагіат, самоплагіат, фабрикацію та фальсифікацію даних, списування, замовлення навчальних і кваліфікаційних робіт — із розглядом їх індивідуальних та системних причин. На основі звітів ОЕСР, даних НАЗЯВО та вітчизняних емпіричних досліджень проведено аналіз сучасного стану дотримання академічної доброчесності в українських закладах вищої освіти, що виявив суттєві розриви між формальним запровадженням політик і реальною практикою. Розглянуто та оцінено практичні механізми запобігання порушенням: антиплагіатні системи виявлення запозичень, інституційні кодекси академічної доброчесності, комісії з академічної етики, навчання академічному письму, а також трансформацію підходів до оцінювання на користь індивідуальних завдань, усних захистів і портфоліо. Окрему увагу приділено викликам цифровізації та штучного інтелекту, зокрема поширеному використанню генеративних ШІ-інструментів — за даними дослідження 2024 року в НМУ імені Богомольця, 84 % респондентів використовували ШІ в академічних цілях. Обґрунтовано необхідність формування внутрішньої культури академічної доброчесності, а не лише каральних механізмів, як передумови сталого розвитку вищої освіти України та її інтеграції до Європейського академічного простору.

Ключові слова: академічна доброчесність, якість освіти, плагіат, вища освіта, академічна культура, штучний інтелект, цифровізація освіти, нормативно-правове забезпечення.

Abstract

The article comprehensively examines academic integrity as a fundamental factor in ensuring the quality of higher education in Ukraine. The study analyses the regulatory framework governing academic integrity, tracing its evolution from the Law of Ukraine «On Higher Education» (2014) and the Law of Ukraine «On Education» (2017) to the landmark Law of Ukraine «On Academic Integrity» (2025, No. 4742-IX) — the first dedicated legislation of this kind in the European educational space. The principal types of violations are identified and characterised, including plagiarism, self-plagiarism, data fabrication and falsification, cheating, and contract cheating, with an examination of their individual and systemic causes. Drawing on OECD reports, NAQA data, and domestic empirical studies, the article assesses the current state of academic integrity compliance across Ukrainian higher education institutions, revealing significant disparities between formal policy adoption and actual practice. Practical mechanisms for preventing violations are reviewed and evaluated: anti-plagiarism detection systems, institutional codes of academic integrity, academic ethics committees, academic writing instruction, and the redesign of assessment approaches towards individual tasks, oral defences, and portfolio-based evaluation. Special attention is devoted to the challenges posed by digitalisation and artificial intelligence, including the widespread use of generative AI tools by students — as evidenced by a 2024 study at Bogomolets National Medical University, where 84% of respondents reported using AI for academic purposes. The article substantiates the necessity of cultivating an internal culture of academic integrity, rather than relying solely on punitive mechanisms, as a precondition for the sustainable development of higher education in Ukraine and its integration into the European academic community.

Keywords: academic integrity, quality of education, plagiarism, higher education, academic culture, artificial intelligence, digitalisation of education, regulatory framework.

Постановка проблеми. Якість вищої освіти є одним із ключових показників розвитку сучасного суспільства, оскільки вона визначає рівень підготовки фахівців і конкурентоспроможність держави. У цьому контексті академічна доброчесність виступає базовим елементом, який забезпечує достовірність результатів навчання та довіру до освітньої системи. Порушення академічної доброчесності призводить до серйозних наслідків — зниження рівня знань студентів, формування формального підходу до навчання та девальвації дипломів [9].

Проблема актуалізується в умовах цифровізації, коли доступ до інформації став максимально спрощеним, а контроль за коректністю її використання — значно складнішим. Поява інструментів генерації тексту на основі штучного інтелекту додала принципово нові виклики для академічної спільноти всього світу. За даними дослідження, проведеного в Національному медичному університеті імені Богомольця у 2024 році, 84 % опитаних студентів, інтернів та аспірантів використовували ШІ в академічних цілях, з них 14 % — для написання есе [10].

В Україні ці проблеми набули особливої гостроти. Ще у 2017 році у доповіді ОЕСР було зафіксовано, що система освіти України на всіх рівнях — від дошкільного до вищого — стикається з системними порушеннями академічної доброчесності, зокрема у вищій освіті: корупційним вступом, академічним шахрайством та незаконним визнанням академічних результатів [11]. Реакцією держави стало поступове формування законодавчого підґрунтя, яке завершилося прийняттям у грудні 2025 року

спеціального Закону України «Про академічну доброчесність» — першого такого закону в Європейському просторі [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика академічної доброчесності активно досліджується як в Україні, так і за кордоном. Законодавчу основу становлять Закон України «Про вищу освіту» [2], Закон України «Про освіту» [3], а також нещодавно прийнятий Закон України «Про академічну доброчесність» [1], який вперше на законодавчому рівні комплексно врегулював ці питання для всієї системи освіти та науки.

На рівні нормативно-методичного забезпечення важливу роль відіграють рекомендації МОН України щодо запобігання академічному плагіату [4] та методичні матеріали, розроблені Національним агентством із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО) [5]. У звіті НАЗЯВО за 2022 рік окремий розділ присвячено аналізу практик академічної доброчесності в українських ЗВО на основі матеріалів самооцінювання освітніх програм [5]. Зокрема, зафіксовано, що у 2021 році НАЗЯВО одночасно брало участь у 16 судових справах, переважна більшість яких стосувалася позовів осіб, незгодних з висновками агентства щодо плагіату в їхніх публікаціях [13].

У міжнародному вимірі академічна доброчесність розглядається як невід'ємна складова якості освіти [6]. Міжнародний центр академічної доброчесності (ICAI) визначає шість фундаментальних цінностей цього поняття: чесність, довіру, справедливість, повагу, відповідальність та мужність [7]. Це визначення знайшло відображення і в українському законодавстві: Закон 2025 року [1] закріпив перелік базових цінностей, доповнивши міжнародний стандарт ще двома — стійкістю та рішучістю. Дослідниця Т. Брегаг підкреслює, що ефективне забезпечення академічної доброчесності у закладах вищої освіти можливе лише за умови поєднання

інституційної політики, освітніх підходів і формування академічної культури [8].

Вітчизняні науковці — І. О. Доценко, Г. О. Ульянова, Н. П. Бааджи, Н. Г. Батечко та ін. наголошують на необхідності системного підходу до впровадження академічної доброчесності з урахуванням специфіки українського освітнього середовища [12]. Водночас дослідники звертають увагу на те, що значна частина студентів порушує правила не через свідоме ігнорування етичних норм, а через недостатню обізнаність та відсутність навичок академічного письма [12].

Мета статті.

Метою статті є комплексний аналіз академічної доброчесності як основи якості вищої освіти, дослідження сучасного стану її дотримання в українських ЗВО, а також визначення ефективних механізмів її забезпечення в умовах цифровізації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Академічна доброчесність є системою етичних норм і правил, що регулюють поведінку всіх учасників освітнього та наукового процесу. Закон України «Про академічну доброчесність» (2025) визначає її як «сукупність цінностей, принципів і правил, яких мають дотримуватися всі суб'єкти академічної діяльності під час навчання, викладання, наукової та науково-технічної діяльності» [1]. Її значення полягає в забезпеченні об'єктивності оцінювання, достовірності наукових результатів та довіри суспільства до освітньої системи в цілому.

Нормативно-правове забезпечення академічної доброчесності в Україні.

Нормативна база у сфері академічної доброчесності в Україні формувалася поступово. Закон «Про вищу освіту» 2014 року [2] закріпив базові вимоги до академічної доброчесності у системі вищої освіти. Закон

«Про освіту» 2017 року [3] розширив ці вимоги на всю освітню систему та вперше законодавчо закріпив відповідальність за академічний плагіат. Лист МОН України від 23.10.2018 № 1/9-650 [4] конкретизував рекомендації щодо запобігання академічному плагіату у ЗВО. Методичні рекомендації НАЗЯВО [5] окреслили практичні інструменти забезпечення доброчесності на рівні освітніх програм та університетських процедур.

Прийняття у грудні 2025 року спеціального Закону «Про академічну доброчесність» (№ 10392) [1] стало логічним завершенням цього процесу та якісно новим кроком. Закон вперше в Україні — і в Європі — встановив єдині комплексні правила доброчесності для всіх рівнів освіти: від загальної середньої до вищої, а також для наукових досліджень, експертизи та присудження наукових ступенів. Документ визначив базові цінності (чесність, довіра, повага до авторства та гідності, справедливість, відповідальність, стійкість і рішучість), чітко врегулював процедури розгляду порушень, механізми реагування та санкції, розмежувавши відповідальність осіб та інституцій [1]. Президент України підписав закон 29 січня 2026 року; він набирає чинності перед початком навчального року — 31 липня 2026 року.

Основні види порушень та їх причини.

Порушення академічної доброчесності мають різноманітні форми. Найпоширенішим є плагіат — привласнення чужих ідей або текстів без зазначення авторства [4]. Самоплагіат передбачає повторне використання власних матеріалів без відповідного посилання. Фабрикація та фальсифікація пов'язані зі створенням або спотворенням даних досліджень. Списування залишається одним із найпоширеніших порушень безпосередньо у навчальному процесі. Окрему категорію становить так зване «замовлення» навчальних та кваліфікаційних робіт, що набуло значного поширення в умовах доступності онлайн-послуг.

Причини порушень мають як індивідуальний, так і системний характер. Серед індивідуальних факторів дослідники виокремлюють: недостатнє розуміння вимог академічного письма, відсутність навичок роботи з джерелами, низьку мотивацію до навчання та перевантаженість завданнями [12]. На системному рівні вагому роль відіграє відсутність ефективної інституційної політики доброчесності, недостатній контроль та слабка культура академічної відповідальності. Зокрема, ОЕСР у своїй доповіді 2017 року вказував, що однією зі структурних причин плагіату в Україні було те, що формули фінансування та система оплати праці викладачів фактично заохочували толерантне ставлення до порушень: університети зазнавали фінансових втрат у разі виключення студентів або суворого оцінювання [11].

Дослідження «Академічна культура українського студентства» (2015), проведене серед 1928 студентів та 374 викладачів із різних регіонів України, дозволило з'ясувати, що значна частина студентів не усвідомлює, де проходить межа між допустимим цитуванням і плагіатом [13]. Це свідчить про те, що проблема значною мірою є педагогічною та виховною, а не лише дисциплінарною.

Практичні механізми забезпечення академічної доброчесності.

Ефективне забезпечення академічної доброчесності потребує комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні та виховні заходи.

Використання антиплагіатних систем (зокрема, Unicheck, який застосовується у більшості українських ЗВО) дозволяє автоматично виявляти текстові запозичення. Утім, ці системи мають суттєве обмеження: вони фіксують лише текстовий збіг, не розрізняючи коректного цитування і некоректного використання джерел, і не виявляють так зване «перефразування» без посилань [5].

Ключовим напрямом є навчання академічному письму — формування у студентів умінь коректно працювати з джерелами, будувати власну аргументацію та оформлювати посилання відповідно до прийнятих стандартів. Аналіз практики вітчизняних ЗВО показує, що впровадження кодексів академічної доброчесності та створення комісій з академічної етики сприяє зниженню кількості порушень та підвищенню обізнаності учасників освітнього процесу. Показовим прикладом є Києво-Могилянська академія, яка впровадила жорстку нульову толерантність до плагіату і здобула репутацію університету з високими стандартами академічної доброчесності [13].

Трансформація підходів до оцінювання — впровадження індивідуальних завдань, проєктної роботи, усних захистів та портфоліо — суттєво знижує можливості для порушень і водночас формує більш глибоке розуміння навчального матеріалу. Важливу роль відіграють і самі викладачі: вони не лише здійснюють контроль, а й транслюють цінності академічної доброчесності через власний приклад та стиль викладання [8].

На інституційному рівні НАЗЯВО забезпечує зовнішній контроль за дотриманням стандартів академічної доброчесності в рамках акредитаційних процедур. У 2021 році агентство перевірило наявність плагіату у кваліфікаційних роботах в межах 16 паралельних судових справ, що свідчить про реальне правозастосування у цій сфері [13]. Прийнятий у 2025 році спеціальний закон [1] усунув низку правових прогалин, які дозволяли порушникам уникати відповідальності шляхом оскарження повноважень НАЗЯВО в суді.

Виклики цифровізації та штучного інтелекту.

Цифровізація освіти загострила проблему академічної доброчесності, відкривши принципово нові можливості для її порушення. З одного боку, онлайн-ресурси розширили доступ до інформації та полегшили навчання. З

іншого — вони збільшили спокусу використовувати готові матеріали без належного посилання на джерела.

Поява доступних інструментів генерації тексту на основі великих мовних моделей (ChatGPT та ін.) з кінця 2022 року створила принципово новий виклик. Станом на початок 2023 року опитування Study.com серед понад 1000 американських студентів зафіксувало, що 89 % з тих, хто користувався ChatGPT, застосовували його для виконання домашніх завдань [14]. В Україні подібне дослідження 2024 року серед студентів-медиків показало, що 84 % використовували ШІ в академічних цілях; при цьому більшість респондентів не пов'язували таке використання з порушенням академічної доброчесності [10].

ЮНЕСКО закликає уряди впроваджувати відповідні регуляції та підготовку викладачів, щоб забезпечити людиноорієнтований підхід до використання генеративного ШІ в освіті [10]. В Україні МОН видало рекомендаційні матеріали щодо використання ШІ в освіті, однак вони містять загальні формулювання і не встановлюють чітких заборон чи дозволів [10]. Ситуацію ускладнює те, що традиційні антиплагіатні системи не здатні надійно виявляти текст, згенерований ШІ. Це вимагає не лише адаптації технічних інструментів, а й переосмислення підходів до оцінювання: переорієнтації на завдання, що демонструють живе мислення, — дискусії, усні захисти, рефлексивні есе з особистим досвідом.

Стан академічної доброчесності в українських ЗВО: сучасна картина.

На сьогодні більшість українських університетів затвердили власні кодекси академічної доброчесності, впровадили антиплагіатні системи та створили відповідні комісії. Однак, за даними звітів НАЗЯВО, рівень реального дотримання академічної доброчесності суттєво різниться залежно від університету та конкретного факультету [5].

Опитування серед науково-педагогічного персоналу і здобувачів, проведені в окремих університетах (зокрема, Державному біотехнологічному університеті у 2023 році), виявили, що поняття «нульова толерантність до академічної недоброчесності» нерідко трактується як синонім боротьби лише з плагіатом, тоді як більш широкий спектр порушень залишається поза увагою. Водночас самі учасники опитувань наголошували, що академічна доброчесність — це насамперед про цінності: самовираження, відсутність авторитаризму, підтримку ініціативи, сприятливий клімат [15].

В умовах повномасштабного вторгнення Росії з 2022 року питання академічної доброчесності набуло нових вимірів. Частина університетів перейшла в повністю дистанційний режим, що ускладнило контроль за самостійністю виконання завдань. Водночас університети зіткнулися з необхідністю зберігати освітній процес попри знищення інфраструктури, втрату кадрового потенціалу та відтік студентів [16]. У цьому контексті збереження академічних стандартів набуває особливого символічного значення — як ознаки стійкості та незламності освітньої системи.

Міжнародний досвід та перспективи для України.

Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що країни з розвиненою культурою академічної доброчесності демонструють вищу якість освітніх систем загалом [6]. Скандинавські університети традиційно є лідерами у цій сфері завдяки сильній університетській автономії та культурі взаємної довіри. У США система кодексів честі та пірингового контролю сформувала відповідальне ставлення до академічних норм упродовж десятиліть.

Для України прийняття Закону «Про академічну доброчесність» (2025) відкриває важливий новий розділ. Водночас правові норми самі по собі не здатні сформувати культуру. Досвід провідних університетів світу підтверджує: вирішальним є не стільки каральна складова, скільки виховна — системне формування у студентів розуміння того, чому доброчесність

важлива особисто для них, для якості їхнього навчання та для репутації їхнього диплому на ринку праці.

Важливим ресурсом є і міжнародна мережа: Europeen Network for Academic Integrity (ENAI) об'єднує університети та дослідників, що займаються питаннями академічної доброчесності, і надає методологічну підтримку для розробки освітніх програм у цій сфері [6].

Висновки

Академічна доброчесність є фундаментальною основою якості вищої освіти. Її дотримання забезпечує достовірність результатів навчання, формує відповідальне ставлення до освітнього процесу та підвищує довіру до освітньої системи в суспільстві.

Аналіз показує, що Україна пройшла значний шлях у законодавчому та інституційному врегулюванні цього питання: від перших норм Закону «Про вищу освіту» (2014) до прийняття першого у Європі спеціального Закону «Про академічну доброчесність» (2025). Це закладає міцне правове підґрунтя для подальших системних змін.

Водночас правові норми є лише одним із компонентів системи. Ефективне забезпечення академічної доброчесності можливе лише за поєднання технічних інструментів контролю, розвитку навичок академічного письма, трансформації підходів до оцінювання та цілеспрямованого виховання внутрішньої мотивації до чесного навчання.

Окремим актуальним завданням залишається вироблення чітких і прийнятних підходів до використання штучного інтелекту в академічному контексті — таких, що не блокують розвиток, але зберігають сутність навчання як процесу формування власного мислення.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з вивченням правозастосовної практики нового закону, дослідженням ефективності конкретних виховних та методичних механізмів у різних типах ЗВО, а також

розробленням адаптованих підходів до забезпечення академічної доброчесності в умовах цифровізації та дистанційного навчання.

Література

1. Верховна Рада України. (2025). Закон України «Про академічну доброчесність» від 18.12.2025 № 4742-IX. https://zakon.rada.gov.ua/go/4742-20

2. Верховна Рада України. (2014). Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18

3. Верховна Рада України. (2017). Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

4. Міністерство освіти і науки України. (2018). Про затвердження рекомендацій щодо запобігання академічному плагіату в закладах вищої освіти: лист МОН України № 1/9-650 від 23.10.2018. https://mon.gov.ua

5. Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти. (2022). Річний звіт 2022. НАЗЯВО. https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/Звіт-2021.pdf

6. European Network for Academic Integrity. (2020). Academic integrity in higher education: A handbook for students. https://www.academicintegrity.eu

7. Fishman, T. (2021). The fundamental values of academic integrity (3rd ed.). International Center for Academic Integrity. https://academicintegrity.org

8. Bretag, T. (Ed.). (2016). Handbook of academic integrity. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-098-8

9. OECD. (2023). Education at a glance 2023: OECD indicators. OECD Publishing. https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/

10. Lymar, L., Kuchyn, I., Bielka, K., & Puljak, L. (2025). Academic misconduct and artificial intelligence use by medical students, interns and PhD students in Ukraine: A cross-sectional study. BMC Medical Education, 25, Article 1496. https://doi.org/10.1186/s12909-025-08100-y

11. OECD. (2017). OECD reviews of integrity in education: Ukraine 2017. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264270664-en

12. Доценко, І. О. (2022). Академічна доброчесність у системі забезпечення якості вищої освіти. Педагогічна освіта: Теорія і практика, 32, 31–42.

13. Kvit, S., & Stukalo, N. (2024). University autonomy as a value basis and necessary environment for academic integrity in the context of the Ukrainian quality assurance system European integration. Centre for Higher Education Leadership and Policy Studies. https://chelps.eduhk.hk/page/detail/476

14. Sozon, M., Alkharabsheh, O. H. M., Fong, P. W., & Chuan, S. B. (2024). Cheating and plagiarism in higher education institutions (HEIs): A literature review. F1000Research, 13, Article 788. https://doi.org/10.12688/f1000research.147140.2

15. Державний біотехнологічний університет. (2023). Результати анкетування «Я і академічна доброчесність» (2022/23 н. р.). https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/rez-anket-ya-i-acad-dobrochesnist.pdf

16. Шевчук, І., & Шевчук, А. (2022). Освітня аналітика крізь призму війни: виклики та можливості для вищої школи України. Економіка та суспільство, 39. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-80

References

1. Verkhovna Rada Ukrainy. (2025). Zakon Ukrainy «Pro akademichnu dobrochesnist» vid 18.12.2025 № 4742-IX [Law of Ukraine «On Academic

Integrity» of 18.12.2025 No. 4742-IX]. https://zakon.rada.gov.ua/go/4742-20 [in Ukrainian].

2. Verkhovna Rada Ukrainy. (2014). Zakon Ukrainy «Pro vyshchu osvitu» vid 01.07.2014 № 1556-VII [Law of Ukraine «On Higher Education» of 01.07.2014 No. 1556-VII]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 [in Ukrainian].

3. Verkhovna Rada Ukrainy. (2017). Zakon Ukrainy «Pro osvitu» vid 05.09.2017 № 2145-VIII [Law of Ukraine «On Education» of 05.09.2017 No. 2145-VIII]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 [in Ukrainian].

4. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. (2018). Pro zatverdzhennia rekomendatsii shchodo zapobihannia akademichnomu plahiatu v zakladakh vyshchoi osvity: lyst MON Ukrainy № 1/9-650 vid 23.10.2018 [On Approval of Recommendations on Preventing Academic Plagiarism in Higher Education Institutions]. https://mon.gov.ua [in Ukrainian].

5. Natsionalne ahentstvo iz zabezpechennia yakosti vyshchoi osvity. (2022). Richnyi zvit 2022 [Annual Report 2022]. NAQA. https://naqa.gov.ua [in Ukrainian].

6. European Network for Academic Integrity. (2020). Academic integrity in higher education: A handbook for students. https://www.academicintegrity.eu [in English].

7. Fishman, T. (2021). The fundamental values of academic integrity (3rd ed.). International Center for Academic Integrity. https://academicintegrity.org [in English].

8. Bretag, T. (Ed.). (2016). Handbook of academic integrity. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-098-8 [in English].

9. OECD. (2023). Education at a glance 2023: OECD indicators. OECD Publishing. https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/ [in English].

10. Lymar, L., Kuchyn, I., Bielka, K., & Puljak, L. (2025). Academic misconduct and artificial intelligence use by medical students, interns and PhD students in Ukraine: A cross-sectional study. BMC Medical Education, 25, Article 1496. https://doi.org/10.1186/s12909-025-08100-y [in English].

11. OECD. (2017). OECD reviews of integrity in education: Ukraine 2017. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264270664-en [in English].

12. Dotsenko, I. O. (2022). Akademichna dobrochesnist u systemi zabezpechennia yakosti vyshchoi osvity [Academic integrity in the higher education quality assurance system]. Pedahohichna osvita: Teoriia i praktyka, 32, 31–42. [in Ukrainian].

13. Kvit, S., & Stukalo, N. (2024). University autonomy as a value basis and necessary environment for academic integrity in the context of the Ukrainian quality assurance system European integration. Centre for Higher Education Leadership and Policy Studies. https://chelps.eduhk.hk/page/detail/476 [in English].

14. Sozon, M., Alkharabsheh, O. H. M., Fong, P. W., & Chuan, S. B. (2024). Cheating and plagiarism in higher education institutions (HEIs): A literature review. F1000Research, 13, Article 788. https://doi.org/10.12688/f1000research.147140.2 [in English].

15. Derzhanyi biotekhnolohichnyi universytet. (2023). Rezultaty anketuvannia «Ya i akademichna dobrochesnist» (2022/23 n. r.) [Survey results «I and academic integrity» (2022/23 academic year)]. https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/rez-anket-ya-i-acad-dobrochesnist.pdf [in Ukrainian].

16. Shevchuk, I., & Shevchuk, A. (2022). Osvitnia analityka kriz pryzmu viiny: vyklyky ta mozhlyvosti dlia vyshchoi shkoly Ukrainy [Educational analytics through the lens of war: Challenges and opportunities for higher education in Ukraine]. Ekonomika ta suspilstvo, 39. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-80 [in Ukrainian].

Pecheriaha Svitlana, PhD, assistant Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-3884-9109

Zelenska Diana, student of higher medical education**,** Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

POLYCYSTIC OVARY SYNDROME: DIAGNOSTIC CRITERIA AND TREATMENT METHODS

Abstract

Polycystic ovary syndrome (PCOS) is one of the most common endocrine disorders in women of reproductive age, characterized by marked clinical heterogeneity, phenotypic variability, and a high risk of metabolic and reproductive complications. The condition has a multifactorial etiology and a complex pathogenesis, including disturbances in neuroendocrine regulation, insulin resistance, and hyperandrogenism, which result in a wide spectrum of clinical manifestations and complicate timely diagnosis.

The article summarizes current scientific data on the diagnostic criteria and treatment approaches for PCOS in accordance with international guidelines from 2018–2023. The role of the Rotterdam criteria as the basis for diagnosis is highlighted, as well as the особеності of their application across different age groups, particularly in adolescents, taking into account the risks of overdiagnosis and underdiagnosis. Special attention is paid to the role of anti-Müllerian hormone as a potential adjunctive biomarker of polycystic ovarian morphology, as well as to the limitations of its clinical use associated with variability in measurements and the lack of standardized reference values. Key pathogenetic mechanisms of the disease are analyzed, including insulin resistance, hyperandrogenism, dysfunction of the hypothalamic–pituitary–ovarian axis, and their relationship

with metabolic changes. Modern therapeutic strategies based on a multidisciplinary and individualized approach are considered, including lifestyle modification, the use of combined oral contraceptives, insulin-sensitizing agents, inositols, and fertility restoration methods, including ovulation induction. The importance of early diagnosis, comprehensive assessment of cardiometabolic risks, long-term monitoring, and personalized management of patients with PCOS is emphasized in order to improve quality of life, preserve reproductive health, and prevent long-term complications.

Keywords: polycystic ovary syndrome, diagnosis, hyperandrogenism, insulin resistance, Rotterdam criteria, treatment.

Problem statement. Polycystic ovary syndrome (PCOS) is one of the most common endocrine disorders in women of reproductive age, affecting 8–13% of the population and remaining undiagnosed in more than 70% of cases. It is characterized by significant clinical heterogeneity and diagnostic complexity. Despite the availability of internationally recognized diagnostic criteria, particularly the Rotterdam criteria, the problem of timely diagnosis remains relevant due to the absence of a single pathognomonic marker and the considerable variability of clinical manifestations [1-4].

Particular difficulties arise in diagnosing PCOS in adolescents, as the physiological features of puberty may mimic the symptoms of the disorder, increasing the risk of both overdiagnosis and underdiagnosis. In addition, current evidence indicates the multisystem nature of PCOS, which affects not only the reproductive system but also metabolic, endocrine, and psycho-emotional domains.

Another important issue is the lack of standardized approaches to the use of novel biomarkers, particularly anti-Müllerian hormone, which limits their widespread implementation in clinical practice. At the same time, the significance

of metabolic disturbances, including insulin resistance and increased cardiovascular risk, is growing, necessitating early detection and comprehensive management of patients [5].

Thus, the need to improve diagnostic approaches, individualize therapy, and prevent long-term complications determines the relevance of further research in this field.

Analysis of recent research and publications. Recent scientific studies confirm that PCOS is a heterogeneous multisystem disorder, the diagnosis of which is based on the Rotterdam criteria, taking into account updated international guidelines from 2018 and 2023 [4, 6–7]. Considerable attention has been paid to the role of anti-Müllerian hormone (AMH) as a potential biomarker of polycystic ovarian morphology. It has been established that AMH levels are elevated in women with PCOS and correlate with the number of antral follicles; however, its use is limited by the lack of standardized cut-off values and significant variability in measurements [14, 16].

Recent studies also emphasize the systemic nature of PCOS, particularly its association with insulin resistance, obesity, and increased cardiometabolic risk [5, 11]. In the field of treatment, there is a shift toward personalized approaches that take into account disease phenotype, reproductive plans, and associated metabolic disorders [7].

Purpose of the article. To summarize current scientific data on the diagnostic criteria of polycystic ovary syndrome and to analyze contemporary approaches to its treatment.

Presentation of the main material of the study. An analytical review of contemporary scientific sources was conducted, including international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, and clinical studies published in PubMed, Scopus, and Web of Science databases.

The pathogenesis of PCOS includes dysfunction of the hypothalamic-pituitary-ovarian axis, increased secretion of gonadotropin-releasing hormone, altered ratios of luteinizing and follicle-stimulating hormones, hyperandrogenism, and insulin resistance. These mechanisms lead to impaired folliculogenesis, chronic anovulation, and the development of polycystic ovarian morphology [3].

Modern diagnosis of polycystic ovary syndrome (PCOS) is based on the Rotterdam criteria (2003), which have been confirmed and refined by international guidelines of 2018 and 2023. According to them, the diagnosis is established in the presence of two out of three features: hyperandrogenism (clinical or biochemical), ovulatory dysfunction, and ultrasound signs of polycystic ovarian morphology. An important condition is the exclusion of other endocrine disorders [4, 6–7].

Hyperandrogenism is a key component of PCOS and is observed in most patients. It may manifest clinically (hirsutism, acne, androgenic alopecia) or laboratorily (increased levels of testosterone, free androgen index). The most informative laboratory indicators are considered to be free testosterone and the free androgen index, which have high sensitivity and specificity [8].

Ovulatory dysfunction manifests as oligo- or amenorrhea, which is the result of chronic anovulation. The criteria for menstrual cycle disturbances vary depending on age and time since menarche, which is especially important in the diagnosis in adolescents [7].

An equally important diagnostic component is the assessment of menstrual function, which reflects the state of the hypothalamic-pituitary-ovarian axis. It has been established that the regularity and duration of the menstrual cycle depend on many factors, including body weight, level of physical activity, nutrition, presence of stress, harmful habits, and concomitant endocrine or somatic diseases. In clinical practice, oligomenorrhea is usually defined as a cycle duration of more than 35 days; however, modern approaches provide for a differentiated assessment

depending on age and gynecological age. Thus, during the first 1–3 years after menarche, cycle variability may be physiological, and cycles lasting <21 or >45 days are considered pathological. After three years from menarche, the criteria for нарушения are intervals <21 or >35 days, fewer than 8 menstrual cycles per year, as well as intervals of more than 90 days between menstruations. Primary amenorrhea should also be taken into account - absence of menarche by the age of 15 or within three years after thelarche. Such an approach emphasizes the need for an individualized assessment of menstrual function taking into account age-related characteristics, which is of key importance for avoiding both underdiagnosis and overdiagnosis of PCOS [2].

Ultrasound examination of the pelvic organs is an important auxiliary method in the diagnosis of PCOS; however, its role should be considered in combination with clinical and laboratory data. Detection of polycystic ovarian morphology alone is not sufficient to establish the diagnosis. According to the updated 2023 recommendations, the presence of ≥20 antral follicles in one ovary or increased ovarian volume is considered diagnostically significant. Additionally, stromal echogenicity, the pattern of follicle distribution (peripheral or diffuse), the total number of antral follicles, as well as blood flow parameters in the ovarian and uterine arteries are evaluated. At the same time, it should be taken into account that ultrasound features have limited specificity, especially in adolescents, in whom multifollicular ovarian structure is often a variant of age-related norm. This determines the risk of overdiagnosis and emphasizes the need for careful interpretation of results taking into account the clinical context and the patient’s age [7].

In recent years, considerable attention has been paid to the role of anti-Mullerian hormone (AMH) as a potential alternative or additional biomarker in the diagnosis of polycystic ovary syndrome. AMH is synthesized by granulosa cells of preantral and small antral follicles and reflects ovarian reserve and the functional

activity of the ovaries. In women with PCOS, its level is usually elevated, which is обусловлено by an increased number of antral follicles and increased hormone production by each follicle [7, 16].

An elevated level of AMH correlates with characteristic morphological changes of the ovaries and may be considered an indirect marker of polycystic ovarian morphology, especially in cases where ultrasound examination is limited or insufficiently informative. Threshold AMH values in the range of 3.8–5.0 ng/mL have been proposed as potentially diagnostically significant; however, they vary considerably depending on age, assay method, and population characteristics [14].

At the same time, despite the high sensitivity of AMH, its specificity remains limited, as there is a significant overlap of values between healthy women and patients with PCOS. This is especially true for adolescents, in whom the number of antral follicles is physiologically increased and, accordingly, AMH levels are higher, which significantly reduces its diagnostic value in this age group [7, 15–16].

Current international guidelines (2023) allow the use of AMH as an alternative criterion for determining polycystic ovarian morphology in adult women in the absence of ultrasound data; however, they do not recommend using this indicator as an independent diagnostic criterion. In addition, in the presence of clinical hyperandrogenism and ovulatory dysfunction, AMH determination is not mandatory for establishing the diagnosis of PCOS [7].

Thus, AMH is considered a promising but auxiliary marker that may increase diagnostic accuracy in complex clinical cases, but requires further standardization of measurement methods and unification of reference values.

PCOS is not only a gynecological but also a multisystem pathology that encompasses metabolic, endocrine, and cardiovascular disorders. One of the key pathogenetic mechanisms is insulin resistance, which is detected in the majority of

patients regardless of body mass index and plays a leading role in disease development. As a result of decreased tissue sensitivity to insulin, compensatory hyperinsulinemia develops, which stimulates the androgen-producing function of ovarian theca cells and simultaneously suppresses the synthesis of sex hormone-binding globulin (SHBG) in the liver. This leads to an increase in free androgen levels and enhancement of the clinical manifestations of hyperandrogenism. In addition, insulin potentiates the action of luteinizing hormone, which further activates steroidogenesis in the ovaries. Thus, a vicious pathogenetic cycle is formed, which maintains hormonal imbalance and progression of PCOS [7, 11].

Metabolic complications of PCOS include an increased risk of developing type 2 diabetes mellitus, dyslipidemia, and cardiovascular diseases. It has been proven that women with the hyperandrogenic phenotype have a significantly higher risk of diabetes compared to other phenotypes. An increased frequency of arterial hypertension and atherosclerotic changes is also noted [11].

Particular attention is drawn to psycho-emotional disorders, which significantly reduce the quality of life of patients. Depression, anxiety disorders, and impaired self-esteem are associated both with hormonal changes and with clinical manifestations (obesity, hirsutism, infertility).

Modern approaches to the treatment of polycystic ovary syndrome are based on a multidisciplinary and individualized strategy that takes into account the phenotype of the disease, the metabolic profile, and the reproductive plans of the patient. According to international recommendations, therapy should be aimed not only at eliminating clinical manifestations, but also at preventing long-term cardiometabolic complications [4, 7].

The basis of treatment is lifestyle modification, which includes normalization of body weight, increasing the level of physical activity, and rationalization of nutrition. It has been established that even a moderate reduction in body weight by 5–10% is associated with a significant improvement in insulin

sensitivity, restoration of ovulation, and normalization of the menstrual cycle, as well as a decrease in androgen levels [4–5, 7]. Physical activity of moderate intensity (at least 150 minutes per week) has a positive effect on metabolic parameters, including lipid profile and glycemic control [7].

Pharmacotherapy of PCOS is determined by the clinical manifestations of the disease and the reproductive intentions of the woman. In patients who are not planning pregnancy, first-line drugs are combined oral contraceptives (COCs), which provide regulation of the menstrual cycle and reduction of manifestations of hyperandrogenism [7]. Their mechanism of action consists in suppressing the secretion of gonadotropins, reducing ovarian androgen production, and increasing the level of sex hormone-binding globulin (SHBG), which leads to a decrease in androgen bioavailability [4].

Additionally, COCs contribute to the reduction of clinical manifestations of hyperandrogenism, such as acne and hirsutism, and have a preventive effect on the development of endometrial hyperplasia as a result of chronic anovulation [5]. The choice of a specific drug should be made taking into account individual risk factors, including metabolic disorders, obesity, and cardiovascular risk.

Metformin is widely used for the correction of insulin resistance, especially in patients with obesity or impaired glucose tolerance. It improves tissue sensitivity to insulin, contributes to normalization of the menstrual cycle, and may increase the frequency of ovulation [10].

Inositols (myo-inositol, D-chiro-inositol) are considered promising agents for the correction of metabolic and hormonal disorders. They improve insulin sensitivity and have a favorable safety profile [9–10].

For the treatment of infertility in women with PCOS, ovulation induction methods are widely used. According to current international recommendations, letrozole is the first-line drug, as it demonstrates higher effectiveness in achieving ovulation and live birth compared to clomiphene citrate. The latter, despite its

long-term use in clinical practice, is gradually losing its position as a first-line agent. In cases of resistance to pharmacological ovulation induction, gonadotropins or assisted reproductive technologies, including in vitro fertilization, are used [7, 12–13].

The updated 2023 recommendations emphasize the individualization of treatment, assessment of cardiometabolic risks, the psycho-emotional state of patients, and improvement of quality of life. Patient involvement in decision-making and a multidisciplinary approach are important [7].

Conclusions. Polycystic ovary syndrome is a complex multifactorial disease with diverse clinical manifestations and significant long-term risks. Modern diagnostic approaches are based on a combination of clinical, laboratory, and instrumental criteria with mandatory exclusion of other pathologies.

Treatment of PCOS should be individualized and aimed not only at eliminating symptoms but also at preventing metabolic and cardiovascular complications. The basis of therapy is lifestyle modification, supplemented by pharmacological treatment according to the clinical situation.

Further research is needed to improve diagnostic algorithms, standardize biomarkers, and optimize therapeutic strategies, which will contribute to improving the quality of medical care for women with PCOS.

References

1. Bozdag, G., Mumusoglu, S., Zengin, D., Karabulut, E., & Yildiz, B. O. (2016). The prevalence and phenotypic features of polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Human reproduction (Oxford, England), 31*(12), 2841–2855. https://doi.org/10.1093/humrep/dew218

2. Peña, A. S., Witchel, S. F., Hoeger, K. M., Oberfield, S. E., Vogiatzi, M. G., Misso, M., Garad, R., Dabadghao, P., & Teede, H. (2020). Adolescent pol-

ycystic ovary syndrome according to the international evidence-based guideline. *BMC medicine*, *18*(1), 72. https://doi.org/10.1186/s12916-020-01516-x

3. Ibáñez, L., Oberfield, S. E., Witchel, S., Auchus, R. J., Chang, R. J., Codner, E., Dabadghao, P., Darendeliler, F., Elbarbary, N. S., Gambineri, A., Garcia Rudaz, C., Hoeger, K. M., López-Bermejo, A., Ong, K., Peña, A. S., Reinehr, T., Santoro, N., Tena-Sempere, M., Tao, R., Yildiz, B. O., … Lee, P. A. (2017). An International Consortium Update: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment of Polycystic Ovarian Syndrome in Adolescence. *Hormone research in paediatrics*, *88*(6), 371–395. https://doi.org/10.1159/000479371

4. Teede, H. J., Misso, M. L., Costello, M. F., Dokras, A., Laven, J., Moran, L., Piltonen, T., Norman, R. J., & International PCOS Network (2018). Recommendations from the international evidence-based guideline for the assessment and management of polycystic ovary syndrome. *Human reproduction (Oxford, England)*, *33*(9), 1602–1618. https://doi.org/10.1093/humrep/dey256

5. Sadeghi, H. M., Adeli, I., Calina, D., Docea, A. O., Mousavi, T., Daniali, M., Nikfar, S., Tsatsakis, A., & Abdollahi, M. (2022). Polycystic Ovary Syndrome: A Comprehensive Review of Pathogenesis, Management, and Drug Repurposing. *International journal of molecular sciences*, *23*(2), 583. https://doi.org/10.3390/ijms23020583

6. Rotterdam ESHRE/ASRM-Sponsored PCOS consensus workshop group (2004). Revised 2003 consensus on diagnostic criteria and long-term health risks related to polycystic ovary syndrome (PCOS). *Human reproduction (Oxford, England)*, *19*(1), 41–47. https://doi.org/10.1093/humrep/deh098

7. Teede, H. J., Tay, C. T., Laven, J. J. E., Dokras, A., Moran, L. J., Piltonen, T. T., Costello, M. F., Boivin, J., Redman, L. M., Boyle, J. A., Norman, R. J., Mousa, A., & Joham, A. E. (2023). Recommendations From the 2023 International Evidence-based Guideline for the Assessment and Management of Polycys-

tic Ovary Syndrome. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, *108*(10), 2447–2469. https://doi.org/10.1210/clinem/dgad463

8. Joham, A. E., Norman, R. J., Stener-Victorin, E., Legro, R. S., Franks, S., Moran, L. J., Boyle, J., & Teede, H. J. (2022). Polycystic ovary syndrome. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, *10*(9), 668-680. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00163-2

9. Pundir, J., Psaroudakis, D., Savnur, P., Bhide, P., Sabatini, L., Teede, H., Coomarasamy, A., & Thangaratinam, S. (2018). Inositol treatment of anovulation in women with polycystic ovary syndrome: a meta-analysis of randomised trials. *BJOG: an international journal of obstetrics and gynaecology*, *125*(3), 299–308. https://doi.org/10.1111/1471-0528.14754

10. Morley, L. C., Tang, T., Yasmin, E., Norman, R. J., & Balen, A. H. (2017). Insulin-sensitising drugs (metformin, rosiglitazone, pioglitazone, D-chiro-inositol) for women with polycystic ovary syndrome, oligo amenorrhoea and subfertility. *The Cochrane database of systematic reviews*, *11*(11), CD003053. https://doi.org/10.1002/14651858.CD003053.pub6

11. Siddiqui, S., Mateen, S., Ahmad, R., & Moin, S. (2022). A brief insight into the etiology, genetics, and immunology of polycystic ovarian syndrome (PCOS). *Journal of assisted reproduction and genetics*, *39*(11), 2439–2473. https://doi.org/10.1007/s10815-022-02625-7

12. Mahoney, A., & D'Angelo, A. (2025). Treatment Options for Managing Anovulation in Women with PCOS: An Extensive Literature Review of Evidence-Based Recommendations for Future Directions. *Life (Basel, Switzerland)*, *15*(6), 863. https://doi.org/10.3390/life15060863

13. Wasim, T., Nasrin, T., Zunair, J., & Irshad, S. (2024). Efficacy of Letrozole vs Clomiphene Citrate for induction of ovulation in women with polycystic ovarian syndrome. *Pakistan journal of medical sciences*, *40*(1Part-I), 78–83. https://doi.org/10.12669/pjms.40.1.7971

14. Butt, M. S., Saleem, J., Aiman, S., Zakar, R., Sadique, I., & Fischer, F. (2022). Serum anti-Müllerian hormone as a predictor of polycystic ovarian syndrome among women of reproductive age. *BMC women's health*, *22*(1), 199. https://doi.org/10.1186/s12905-022-01782-2

15. Sergiyenko, M.Yu., Siusiuka, V.G., Makurina, G.I., Deinichenko, O.V., Kolokot, N.G., Chornenka A.S. (2022). Modern approaches to the diagnosis and treatment of polycystic ovary syndrome in adolescence. *Reproductive health of woman*, *2* (57), 73-78. https://doi.org/10.30841/2708-8731.2.2022.261816

16. Dumont, A., Robin, G., Catteau-Jonard, S., & Dewailly, D. (2015). Role of Anti-Müllerian Hormone in pathophysiology, diagnosis and treatment of Polycystic Ovary Syndrome: a review. *Reproductive biology and endocrinology: RB&E*, *13*, 137. https://doi.org/10.1186/s12958-015-0134-9

Protsak Kateryna Volodymyrivna, PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Organizational Management Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-5864-4077

Hunka Bohdan Vasyliovych, graduate student at the Organizational Management Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, https://orcid.org/0009-0001-1634-9026

WORLD EXPERIENCE OF MANAGING THE RESOURCE PROVISION OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES OF TERRITORIAL COMMUNITIES: ADAPTATION FOR UKRAINE

Abstract

The article examines the theoretical and applied aspects of managing the resource provision of housing and communal services of territorial communities in the conditions of modern challenges, in particular decentralization and military risks. Scientific approaches to determining the role of financial, material and technical, energy and personnel resources in ensuring the effective functioning of communal infrastructure are summarized. It was established that despite the expansion of the powers of territorial communities as a result of reforms, the system of communal property management and housing and communal services in Ukraine remains insufficiently effective and needs improvement.

The purpose of the article is to substantiate the strategic directions for improving the system of managing the resource provision of housing and communal services of territorial communities of Ukraine based on the analysis and systematization of the best global practices. In the process of research, modern models of housing and communal services management in developed countries are considered, in particular public, delegated, privatized, corporate, regionalized, digital and environmentally oriented. Hybrid models that combine public

management tools and market mechanisms have been proven to be the most effective.

It is substantiated that increasing the efficiency of housing and communal services largely depends on the implementation of public-private partnership, digitalization of management, development of energy-efficient technologies and integration of resources within the concept of sustainable development. Special attention is paid to the analysis of financial instruments, in particular the use of infrastructure and «green» bonds, as well as mechanisms for ensuring the financial autonomy of utility companies.

The key directions of adaptation of the European experience to Ukrainian realities have been determined, including decentralization of energy systems, increasing the energy independence of communities, implementation of smart technologies, development of participatory management and strengthening of stakeholder interaction. It is emphasized that in the conditions of war, the formation of sustainable housing and communal services systems capable of ensuring the continuity of service provision and rapid restoration of infrastructure is of priority importance.

It was concluded that the effective management of housing and communal services resources of territorial communities is based on a complex combination of institutional, financial, technological and social tools, which ensures the improvement of the quality of life of the population and creates prerequisites for the sustainable development of territories.

Keywords: housing and communal services, community, communal property, energy efficiency, communal infrastructure.

Problem statement. Today, housing and communal services are one of the most critical and at the same time problematic spheres of life of territorial communities. In conditions of limited budget funds and infrastructure wear and

tear, the issue of effective resource management becomes at the level of national security. World practice demonstrates the transition from a "consumption model" to a "sustainable management model", where community resources are used as sparingly as possible thanks to innovative technologies and new forms of ownership. Studying this experience will allow Ukrainian communities to avoid mistakes and build a sustainable life support system.

Analysis of recent research and publications. Scientists study various aspects of the resources of territorial communities, features of communal property management and housing and communal services of the population. In particular, Reshetilov G. notes that as a result of decentralization and local self-government reforms, territorial communities have received more resources and powers to dispose of them, in this sense the issue of local development has become especially relevant for communities and factors affecting local economic development are being investigated [1]. Harmata Ye. emphasizes that despite the long-term reform of local self-government, the system of communal property management of territorial communities is still the most imperfect [2].

Korbutiak A., Lysenko Zh. Sokrovolska N., Oleksyn A., Yurii E. investigate the factors that affect the financial support of territorial communities and the effectiveness of local budget management [3]. Kamashev A. analyzes the global experience of the development of the infrastructure of territorial communities, in particular, they indicate that housing and communal services for the population of the territorial community belong to the social infrastructure and depend on its specifics [4]. Bizonych D. compares the management of housing and communal services in Ukraine and European countries and offers to use the experience of the Republic of Poland for Ukraine. This study also focuses on the fact that household consumers of housing and communal services in Ukraine have no alternative in choosing a service or management company, except for the creation of associations with co-owners of multi-apartment buildings. [5]. Tymoshchyk L. substanti-

ates practical approaches to improving the assessment of property of territorial communities and notes that the optimal option is the concentration of funds from local budgets and property of several territorial communities for the creation of joint communal enterprises [6].

Formulation of the article's objectives. The purpose of the article is to substantiate the strategic directions of improving the system of managing the resource provision of housing and communal services of territorial communities of Ukraine based on the analysis and systematization of the best world experience.

To achieve the set goal, the following tasks were defined and solved:

To study modern models of housing and communal services management in the developed countries of the world.

Identify obstacles and opportunities for adapting foreign practices to Ukrainian realities.

Main part. World experience shows that the effectiveness of managing the resource provision of housing and communal services of territorial communities is largely determined by institutional conditions, in particular the role of state and municipal authorities, as well as the evolution of forms of ownership and management. In this context, the key is the combination of principles of public administration and market mechanisms, which allows achieving a balance between the social orientation of services and the economic efficiency of their provision (table 1).

The experience of developed countries demonstrates that the active role of the state is to form a regulatory framework, establish quality standards, tariff regulation and stimulate innovation. At the same time, local governments act as direct management actors responsible for adapting policies to local conditions, planning infrastructure development and ensuring continuity of service provision. Such a multi-level governance model is in line with the concept of multi-level

governance, which ensures the coherence of decisions at different levels of government [10].

Table 1

Generalization of housing and communal services management models: European experience

№	Model	Essence	Role of the State	Countries/examples	Advantages	Disadvantages
1	Public (municipal)	Direct Community Management	High	Germany, Sweden	Social orientation	control Low flexibility
2	Delegated (PPP)	Private operator contract	High (owner-ship)	France, Italy	Investment, efficiency	Mono-polisation risk
3	Privatised	Total Asset Transfer	Regulator	United Kingdom	High Performance	Social Risks
4	Municipal corporations	Commercialized public enterprises	Owner	Germany (Stadt-werke)	Balance of efficiency and control	Need for quality management
5	Regionalized	Community Unification	High	France, Poland	Economies of scale	Difficulty of coordination
6	Multi-utility	Service integration	High/ mixed	Italy, Germany	Resource synergy	Management complexity
7	Digital	Smart Management	High	Netherlands Estonia	Transparency efficiency	High investment
8	Environmental (circular)	Integration of resource flows	High	Sweden	Sustainability environ-mental friendliness	High implement-tation cost

Source: Compiled by the authors based on [7-10]

An important factor in increasing efficiency is the transformation of forms of ownership in the field of housing and communal services. In world practice, mixed and alternative forms such as public-private partnerships, concession management models; corporate and cooperative forms of organization; and the involvement of private operators in the management of infrastructure facilities are actively developing alongside traditional public and communal property.

In particular, public-private partnership mechanisms (PPP) allow combining financial and management resources of the state and business, which contributes to

the modernization of infrastructure, the introduction of innovations and the improvement of the quality of services. At the same time, such models require effective state control to prevent monopolization and ensure the availability of services for the population.

In addition, there is a trend in many countries towards the introduction of new management approaches, in particular new public management, which involves a result orientation, increased efficiency in the use of resources, the introduction of corporate management methods in the public sector and increased responsibility for the quality of service provision.

Community participation also plays an essential role, complementing institutional governance arrangements. Involvement of citizens in decision-making processes, control over the activities of service providers and development of local initiatives contribute to increasing transparency, accountability and efficiency of resource use.

The development of territorial communities in modern conditions is determined by the level of efficiency in the use of basic resources, among which financial, material and technical, energy and personnel resources occupy a leading place. In the field of housing and communal services (housing and communal services), these resources form the basis of the functioning of infrastructure, ensuring the quality of services and sustainable development of territories.

Financial resources are a determining factor in the modernization of housing and communal services, as they ensure the reproduction of fixed assets, the introduction of innovations and the improvement of energy efficiency. The experience of developed countries demonstrates the transition from a subsidy model to financially self-sufficient management systems. In particular, economically justified tariffs are used in water supply systems, which ensure cost coverage and stimulate rational consumption; public-private partnership mechanisms (PPP); infrastructure bonds and “green” financing.

For example, in the USA, the Sustainable Energy Utility model provides financing of energy projects through bonds that provide long-term resource savings and return on investment for 14-20 years. In the countries of the EU and Latin America, the introduction of financial autonomy of utility companies contributes to increasing their efficiency and investment attractiveness.

The application of European experience in Ukraine is complicated by the fact that the war continues, the destruction of the critical infrastructure of territorial communities continues, internal migration processes take place, and the budgets of territorial communities are exhausted. In this context, particular attention is drawn to the practice of developing the market in green bonds, which in European trends are a good alternative to bank loans to meet the needs of the local level [8]. At the current stage of development, the green bond market in Ukraine needs to improve regulatory and organizational support. Such improvement should involve effective government regulation of the issuance of both traditional and specialized green bonds, taking into account the needs of territorial communities, in particular with the aim of reducing the shortage of financial resources. At the same time, it is important to expand the circle of issuers and investors in the green bond market, which will contribute to the mobilization of investment resources to finance promising projects in the field of alternative energy development and modernization of municipal infrastructure.

The material and technical base of housing and communal services includes engineering networks, equipment, transport and information systems. In developed countries, the key direction is the renewal of worn infrastructure; implementation of smart technologies (IoT, Big Data); integration of resource management systems (water-energy-waste nexus).

An example is the model of integrated resource management in the city of Medellin, where the utility company provides comprehensive management of water, energy and waste within a single institutional system, which increases the

efficiency of resource use and provides significant budget revenues for the city [11].

Also, in the concept of «smart cities», the use of IoT platforms allows you to optimize the distribution of resources in real time, which increases the reliability and efficiency of utility services

Energy resources play a critical role in the functioning of housing and communal services, since a significant share of costs is accounted for by energy consumption (water supply, heat supply, drainage). The key directions of effective use in European countries are the implementation of energy-efficient technologies; use of renewable energy sources; utilization of secondary energy resources.

In particular, a closed-loop model has been implemented in Sweden (Hammarby Sjöstad area), where heat from treated wastewater is used for heating and waste is processed into biogas [12].

In Armenia, the modernization of water supply systems made it possible to reduce energy consumption by almost 48% thanks to the optimization of pumping equipment and the transition to gravity systems. Similarly, in Brazil, the implementation of energy management programs provided significant electricity savings and a quick return on investment.

Personnel potential is a key factor in the effectiveness of housing and communal services management. In developed countries, special attention is paid to the professionalization of utility management; independence of management from political influence; development of digital competencies of personnel.

The experience of reforming the water supply in Phnom Penh is indicative, where increasing the professionalism of the staff, implementing transparent management and fighting corruption made it possible to reduce water losses from 72% to 6% and achieve the financial stability of the enterprise. In Medellin, an effective corporate model of utility management, independent of political influence, ensures stability of functioning and high performance indicators.

The practice of the countries of the European Union testifies to the gradual transition to a model of sustainable development, which involves the integration of energy-efficient technologies, rational use of resources and greening of management processes. At the same time, in the conditions of war, this model is supplemented by a resilience component, which orients housing and communal services systems to the ability to quickly restore and continuously function in crisis situations.

Germany's experience demonstrates the effectiveness of the implementation of decentralized energy systems, in particular the development of local energy networks (microgrids) and the active use of renewable energy sources. This approach makes it possible to increase the energy autonomy of communities and reduce dependence on centralized systems, which is critically important for Ukraine in conditions of damage to the energy infrastructure.

In Denmark, considerable attention has been paid to the development of district heating systems based on cogeneration and the use of alternative energy sources. A high level of energy efficiency is achieved thanks to a combination of technological innovations and active participation of citizens in management processes, which corresponds to the principles of participatory governance.

Sweden's practice is indicative of the implementation of the principles of the circular economy in the field of waste management and energy supply. The use of waste as an energy source, the minimization of resource losses and the development of closed production cycles contribute to increasing the overall efficiency of housing and communal services systems.

In Estonia, significant results have been achieved thanks to the digitalization of management and the introduction of smart city elements. The use of digital platforms for monitoring resource consumption, infrastructure management and interaction with citizens ensures transparency and efficiency of decision-making, which is especially important in the conditions of crisis management.

The adaptation of these practices in Ukraine involves their rethinking taking into account military risks, in particular by prioritizing decentralized solutions, increasing the energy independence of territorial communities, implementing basic energy-efficient measures and developing local initiatives (table 2).

Table 2

Directions and features of the implementation of European practices of housing and communal management in Ukraine

№	Direction	Essence	Implementation features and effectiveness
1	Decentralization and autonomy of systems	Creation and transformation of microgrids (local power systems); individual heating points; autonomous water supply systems.	More efficient management of local networks; smaller systems are easier to restore in conditions of shelling during war
2	Energy efficiency priority	Implementation of simple and quick solutions: insulation of buildings; energy-saving lighting; accounting and control of resource consumption.	This reduces the burden on the system and the costs of communities.
3	Use of renewable energy sources	Transition to «green» energy (solar panels, heat pumps)	This European trend in Ukraine is also gaining security significance as an element of energy independence
4	Digitalization of management	Implementation of digital technologies in online monitoring of resource consumption; quick response to accidents; transparency of management.	Smart city tools can be adapted even in a simplified form
5	Community involvement	Voluntary initiatives; control over the use of resources; participation in decision-making.	Participatory management practices, development of local initiatives, as well as formation of a culture of responsible consumption
6	Synergy of stakeholders	Interaction of local authorities; state; international partners; business; scientists and experts.	This allows for faster innovation even under constraints.

Source: compiled by the authors

An important aspect is also the activation of population participation in resource management processes, which contributes to the formation of responsible consumer behavior and increases the effectiveness of policy implementation.

The European experience shows that the effective functioning of housing and communal services systems is ensured through the synergy of interaction between the state, local self-government bodies, business, the scientific community and citizens. For Ukraine in the conditions of war, this model acquires special importance, as it allows combining the principles of sustainable development with approaches to ensuring the stability and adaptability of infrastructure, forming the basis for effective recovery and long-term development of territorial communities.

Conclusions. Thus, modern approaches to the development of housing and communal services are based on the integrated use of resources, which involves a combination of financial, technological and energy solutions; use of environmentally oriented models (circular economy); involvement of communities in resource management.

Regionalization and integration of services are of particular importance; involvement of the private sector; digitalization of management; orientation towards sustainable development. This allows to increase efficiency, financial stability and quality of communal services.

The effective development of communities in the field of housing and communal services depends on the comprehensive management of financial, material and technical, energy and personnel resources. The practice of developed countries demonstrates that the key conditions for improving efficiency are the institutional autonomy of utilities, the introduction of innovative technologies, the improvement of energy efficiency and the development of human capital. The integration of these resources within the framework of a single sustainable

development strategy ensures the improvement of the quality of life of the population and the long-term economic stability of communities.

References

1. Reshetilov G. (2022) Local economic development in territorial communities. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science* Vol. 26, No. 1. DOI: 10.56407/2313-092X/2022-26(1)-7

2. Harmata Ye. (2024) Improving the Management of Communal Property of Territorial Communities in the Conditions of Local Self-government Reform in Ukraine. *Public administartion aspects* 12 (3). Pp. 5-13 DOI: https://doi.org/10.15421/152431

3. Korbutiak A., Lysenko Zh. Sokrovolska N., Oleksyn A., Yurii E. (2019) United territorial communities in Ukraine in the context of fiscal decentralization. *Problems and Perspectives in Management*, Volume 17, Issue 2. Pp.217-227. http://dx.doi.org/10.21511/ppm.17(2).2019.16 [in English]

4. Kamashev A. (2021) World Experience of Territorial Communities Infrastructure Development. *Modern Economics*, №30, 102-108. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V30(2021)-16 [in English]

5. Bizonych D. (2021) European experience of housing reform and development: lessons for modern Ukraine. *NUCZU*. Vol. 1 (1) Pp. 129-144. DOI: 10.52363/passa-2021.1-13

6. Tymoshchyk L. (2021) Practical Approaches to Improving the Valuation of Territorial Communities Property. *Modern Economics*. №26, 147-151 DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V26(2021)-22

7. Södergren, K., & Palm, J. (2021). How Organization Models Impact the Governing of Industrial Symbiosis in Public Wastewater Management. An Explorative Study in Sweden. Water, 13, Article 824. https://doi.org/10.3390/w13060824

8. Daudova G., Piskunov R., Moskalenko O. (2025) Research on the conceptual foundations of innovative financing instruments for territorial communities' infrastructure: green bonds. *Financial and Credit Systems: Prospects for Development*. №4(19) P. 68-78. DOI: https://doi.org/10.26565/2786-4995- 2025-4-06

9. Bokolo A. (2024) The Role of Community Engagement in Urban Innovation Towards the Co-Creation of Smart Sustainable Cities. *Journal of the Knowledge Economy*. 15:1592–1624 https://doi.org/10.1007/s13132-023-01176-1

10. Kaganovska, T., & Serohin, V. (2025). Multi-level governance: general theory and ways of implementation in Ukraine in the context of european integration. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Law*, (39), 10-33. https://doi.org/10.26565/2075-1834-2025-39-01

11. Furlong K. (2015) Water and the entrepreneurial city: The territorial expansion of public utility companies from Colombia and the Netherlands. Geoforum Vol. 58, Pp. 195-207 https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.09.008

12. Iveroth S. P., Johansson S., Brandt N. (2013) The potential of the infrastructural system of Hammarby Sjöstad in Stockholm, Sweden. Energy Policy. Vol. 59, Pp. 716-726. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.027

Pylypenko Dmytro, Postgraduate Student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, https://orcid.org/0009-0000-1107-1152

IMPROVING SOFTWARE QUALITY OF THE "ELECTRONIC UNIVERSITY" SYSTEM BASED ON BALANCED TESTING

Abstract

The article presents a comprehensive study of methods for improving the software quality of the "Electronic University" information ecosystem, using the JetIQ platform of Vinnytsia National Technical University as a case study. The relevance of the work is driven by the rapid development of digital educational services and the need to establish reliable quality control mechanisms in complex distributed systems that encompass administrative, educational, and auxiliary processes.

The scientific novelty of the research lies in the substantiation of an integrated approach to testing project planning, combining the strategic V-model with operational management via Kanban technology. The author proposes an adapted V-model where each testing level (functional, communication, emotional) clearly correlates with specific ecosystem services: from verifying individual modules of the "Electronic Dean's Office" to validating the integrity of the functional and communication layers.

Special attention is paid to balancing manual and automated verification methods. The specifics of testing three key system layers are investigated: functional (educational processes and gamification), communication (interaction between users and notification services), and emotional (motivation and feedback). The implementation of a Kanban board is described to visualize the automation workflow, including stages of layer analysis, automated test execution, and emotional feedback assessment.

The practical significance of the results lies in the development of test cases for functions such as student activity monitoring, academic performance rating calculations, and data delivery reliability in notification systems. It is determined that the proposed strategy not only effectively identifies software bugs during frequent updates but also enhances the overall quality of the electronic informational educational environment. Further research prospects are related to the development of metrics for user emotional satisfaction as a crucial indicator of software quality.

Keywords: software quality, JetIQ, V-model, Kanban, test automation, information ecosystem, educational processes, management processes, auxiliary processes, software engineering.

Problem statement. The rapid development of digital educational platforms necessitates the creation of reliable quality control mechanisms. The "Electronic University" system is a complex distributed ecosystem that encompasses thousands of users and heterogeneous processes [1]. The problem lies in the need to develop a strategy and tactical testing tasks that account for not only functional correctness but also the specific nature of communication and emotional connections within the electronic informational educational environment.

The development of the project "Testing of JetIQ System Service Contours" is an integral part of the IT development strategy of Vinnytsia National Technical University. The primary goal of this strategy is to implement a unified information ecosystem for the automation of managerial, educational, and auxiliary processes. The creation of cases for automated and manual tests, their balancing, and periodic execution will enable the identification of system weaknesses and the continuous improvement of its performance.

Analysis of recent research and publications. The theoretical foundations

of the JetIQ ecosystem's functioning are highlighted in the works of Ye. Palamarchuk, O. Kovalenko, and O. Bisikalo [1]. A systematic analysis of global LMS construction practices confirms that the key challenge for educational platforms remains the balance between multi-functionality and usability. This makes the implementation of our proposed balanced testing strategy relevant, as it covers not only the technical integrity of modules but also the emotional interaction of the user with the university ecosystem [2]. Experience in developing web-based LMS demonstrates the effectiveness of using Black Box testing for basic functionality; however, for complex university ecosystems such as JetIQ, it is necessary to implement more dynamic approaches and strategic planning to cover all interaction contours [3]. Nevertheless, an integrated approach to testing planning using the V-model within a multi-contour university model remains insufficiently explored. For the implementation of automated tests, it is advisable to use established methodologies for their creation [4; 5]. Research by Krisper and colleagues [6] in the field of automated system testing for the LMS of Graz University of Technology points to the importance of proper test case design and test data management. This enables the implementation of system-level automation processes. Such testing is aimed at verifying the integrity of the functional and managerial contours of the ecosystem during frequent software updates. This research can be utilized for the adaptation of the V-model. The Kanban methodology is recognized as one of the effective methods for implementing learning management systems and developing electronic services for university management [7].

Purpose of the article. The purpose of the study is to substantiate the methodology for planning and implementing the JetIQ system testing project through a combination of the strategic V-model, Kanban management, and the automation of test cases across the functional, communication, and emotional layers. The purpose of the study is to substantiate the methodology for planning

and implementing the JetIQ system testing project through a combination of the strategic V-model, Kanban management, and the automation of test cases across the functional, communication, and emotional layers.

Presentation of the main material of the study. To improve the software quality of JetIQ, an adapted V-model is proposed, which allows for the synchronization of operational verification stages and ecosystem architecture enhancements with the corresponding levels of verification. In contrast to the classical approach, each testing level corresponds to specific services that automate university activities:

- Component Level: enables the verification of individual services (the "Electronic Dean's Office" module, student and teacher personal accounts, management service operations, etc.).
- Integration Level: allows for the evaluation of the communication layer and the levels of interaction between students and teachers, students and the dean's office, faculty and administrative services, etc.
- System Level: involves the verification of the integrity of the functional and communication layers as the core contours of the system.
- Motivational (Emotional) Layer Assessment: must be carried out across various dimensions — checking for the presence of feedback at defined communication points, the availability of gamification and its impact on student learning levels, and the generation of dynamic emotional messages for students based on the system’s operational content.

The implementation of the testing project for individual JetIQ services requires high flexibility. Utilizing a Kanban board allows for the visualization of the automation workflow. The board structure includes specific stages: "Layer Analysis," "Automation Test Case Creation," "Automated Test Execution," and "Emotional Feedback Analysis." This enables a prompt response to changes in educational processes, for example, during examination sessions.

Automation of Case Studies by System Layers System quality is examined through three key layers, with specific automation cases developed for each. This includes the automation of educational process testing, providing access to electronic information resources, calculating scores and academic performance ratings based on test results, completion of instructor assignments, and monitoring the activity of students and faculty within the system. The operation of the system's core functions can be verified using automated tests.

Table 1

Example of system testing by layers (contours)

Layer (Contour)	Testing Object (Cases)	Testing Method
Communication	CommunicationFile and notification delivery, forum activity, management of news and sites, knowledge assessment (testing).	Load, integration, and manual testing of result acquisition processes.
Emotional	Feedback messages, gamification and activity results, presence of inquiries or complaints, satisfaction assessment results.	Manual testing, surveys

Testing of the instant messaging system, SMS and e-mail notification services, statistical data generation, repository data replenishment, document management systems, and educational program management involves active communication between services and users. When performing testing, it is necessary to utilize both automated and manual test cases. The primary focus of communication layer testing is on performance and data delivery reliability.

The emotional layer involves the use of automated scripts for the collection and primary analysis of gamification results. The pilot project for emotional layer testing includes the accumulation of data regarding inquiries

from students and faculty to administrators and other support specialists of the learning management system, as well as those supporting methodical, scientific, and managerial activities. It also tracks the frequency and duration of system downtime caused by unstable communication networks, power supply issues, etc. Furthermore, the qualifications of specialists across various departments and services are taken into account.

The V-model for the testing project provides for the creation of automated tests as a software product, alongside cases for hybrid and manual testing, with continuous implementation and result analysis. The Kanban board allows for the distribution of all tasks among performers and over time, ensuring comprehensive system testing.

Conclusions. The application of the V-model ensures strategic testing integrity, while Kanban enables efficient management of automated test development for individual JetIQ services. Categorizing testing into functional, communication, and emotional layers allows not only for software bug detection but also for improving the overall quality of the educational environment. Future research will be dedicated to developing metrics for user emotional satisfaction as a software quality indicator.

References

1. Palamarchuk, Ye. A., Kovalenko, O. O., & Bisikalo, O. V. (2024). *Informatsiina ekosystema «Elektronnyi universytet». Metodolohiia, doslidzhennia, vprovadzhennia, rezultaty:* monohrafiia. Vinnytsia: VNTU.

2. Muhardi, M., Gunawan, S. I., Irawan, Y., & Devis, Y. (2020). Design of web based LMS (learning management system) in SMAN 1 Kampar Kiri Hilir. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, 1(2), 70-76. https://doi.org/10.37385/jaets.v1i2.93

3. Hasan, M. J., Khalid, S. M., Yean, T. T., et al. (2021). A Systematic

Review for Online Learning Management System. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(6). http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v11-i6/10137

4. Pajankar, A. (2022*). Python Unit Test Automation: Automate, Organize, and Execute Unit Tests in Python.* Apress.

5. Whittaker, J. A. (2009). *Exploratory Software Testing: Tips, Tricks, Tours, and Techniques to Guide Test Design*. Addison-Wesley Professional.

6. Krisper, L., Koschutnig-Ebner, M., & Ebner, M. (2020). Automated System Testing for a Learning Management System. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(24), 89-100. https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.12073

7. What is a Kanban board methodology? Principles and possibilities. URL: https://elearningindustry.com/what-is-a-kanban-board-methodology-principles-and-possibilities

Storozhuk Yuriy, Postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, https://orcid.org/0009-0002-1066-1358

METHODOLOGY FOR CONTINUOUS PERFORMANCE TESTING OF EDUCATIONAL INFORMATION SYSTEMS BASED ON K6 AND DYNAMIC QUALITY GATES

Abstract

Educational information systems operate under uneven and often unpredictable workloads caused by examination periods, mass access to learning materials, online assessment activities, and administrative operations. Traditional episodic performance testing is often insufficient for such systems because performance regressions may appear during continuous software delivery and remain undetected until deployment. This paper proposes a methodology for continuous performance testing of educational information systems based on k6 and dynamic Quality Gates. The methodology combines realistic educational workload scenarios, automated execution of tests in a CI/CD pipeline, baseline-oriented regression detection, and release validation using service-level objectives. A low-cost experimental environment is proposed to make the approach reproducible for universities and small development teams. The environment may be implemented on a single virtual machine or free-tier cloud instance and is intended primarily for regression-oriented validation rather than full-scale capacity testing. The results show that k6-based continuous performance testing can support early detection of performance degradation, improve release decision-making, and provide a practical path for gradual implementation of performance quality control in educational digital ecosystems.

The study shows that performance testing of educational systems should be based on realistic user scenarios rather than only on generic technical request

patterns. Critical workflows such as authentication, course access, online test start, answer submission, and test completion should be represented as repeatable k6 scenarios with clearly defined metrics and acceptance criteria.

A key feature of the proposed methodology is the use of dynamic Quality Gates that combine thresholds, baselines, and service-level objectives. This makes it possible to detect both absolute violations of performance requirements and relative degradation compared with previously accepted behavior. As a result, performance testing becomes not only a diagnostic activity, but also a release control mechanism.

Keywords: continuous performance testing, educational information systems, k6, dynamic Quality Gates, performance regression, CI/CD, low-cost environment, baseline testing

Problem statement. Educational information systems have become a critical component of modern digital learning environments. They support course delivery, access to learning materials, assessment procedures, communication between participants of the educational process, and administrative operations. In practice, such systems operate under uneven load conditions caused by academic calendars, examination sessions, admission campaigns, simultaneous access of large numbers of users, and short-term activity spikes during critical learning events. Because of this, performance stability becomes an essential requirement for the continuity and quality of educational services.

Analysis of recent research and publications. Traditional performance testing is usually applied before release or during isolated infrastructure validation. Although such testing remains important, it is often insufficient in rapidly evolving software delivery processes. In CI/CD environments, changes in code, configuration, dependencies, and infrastructure may introduce performance regressions long before they are discovered by conventional testing practice. As

a result, systems may formally pass functional verification while still degrading in response time, stability, or throughput after deployment. Continuous delivery practice emphasizes early and repeated verification of quality attributes, including performance [1; 2].

This issue is especially important for educational systems, where performance degradation directly affects critical user's scenarios. Delays during authentication, slow course loading, unstable online testing sessions, or failures during answer submission may disrupt the educational process and reduce user trust in the platform. Therefore, performance validation should be integrated into the software delivery lifecycle and should support release-oriented decision-making rather than remain an isolated post-development activity.

The main contribution of this paper is a methodology for continuous performance testing of educational information systems based on k6 and dynamic Quality Gates. k6 is selected as the execution layer because it supports scenario-based workload modeling, threshold-based pass/fail validation, and integration with CI/CD and monitoring environments [3; 4]. The proposed methodology combines realistic educational workload scenarios, automated test execution, and adaptive release validation based on thresholds, baselines, and service-level objectives. Modern distributed architecture also increases the need for observability and systematic monitoring. Site Reliability Engineering emphasizes service-level indicators and service-level objectives as a basis for reliability-oriented engineering decisions [5]. Systems performance engineering highlights the importance of latency, throughput, saturation, and resource behavior as interrelated indicators rather than isolated metrics [6]. Microservice-based systems additionally require scenario-level and service-level validation because a single user operation may depend on several backend components [7]. The use of k6 is relevant in this context because it supports script-based scenario definition, threshold-based validation, and integration into automated pipelines.

However, the scientific and applied problem is not the adoption of k6 itself, but the development of a methodology in which k6 acts as an execution layer for continuous, release-oriented performance validation. This interpretation is consistent with recent work on performance regression testing, self-service performance testing platforms, and integration of performance checks into DevOps pipelines. However, the scientific and applied problem is not the adoption of k6 itself, but the development of a methodology in which k6 acts as an execution layer for continuous, release-oriented performance validation [8; 9].

Purpose of the article. This article presents a methodology for continuous performance testing of educational systems characterized by fluctuating workloads and multiple critical user services.

Presentation of the main material of the study. Educational information systems have their own performance risks. Their load is not evenly distributed over time: examination sessions, admission campaigns, mass testing, and synchronous educational activities may create short but critical peaks. In such systems, testing should not only measure infrastructure behavior but also verify the stability of critical educational workflows. Previous stress testing of JetIQ and related educational services showed the practical importance of checking learning management workflows under exceptional usage conditions [10; 11].

It is based on four principles: scenario realism, automated repeatability, release-oriented validation, and low-cost reproducibility.

Scenario realism requires that performance tests reflect actual educational workflows instead of abstract request loops. In this study, the workload model is centered around critical scenarios: user authentication, course access, online test session start, answer submission, and test completion. These scenarios are selected because they directly affect continuity of the educational process and user trust in the platform. In k6, they can be represented as separate scenarios

with different virtual user profiles, ramp-up phases, pacing, and acceptance criteria.

Automated repeatability requires that performance tests be executable in a CI/CD pipeline without manual reconfiguration. In the proposed methodology, k6 acts as the workload generation and execution layer, while the pipeline provides orchestration, reporting, and integration with monitoring. Test scripts are versioned together with application code, which makes it possible to compare release candidates under the same controlled workload.

Release-oriented validation means that the output of performance testing should influence release control. For this purpose, the methodology introduces dynamic Quality Gates based on thresholds, baselines, and service-level objectives. Thresholds define explicit acceptance limits for metrics such as response time, error rate, or throughput. Baselines represent historical performance behavior for the same scenario. Service-level objectives define the expected quality targets for critical educational operations. This logic is consistent with the approach to target performance indicators developed in earlier work on service-oriented performance evaluation.

Low-cost reproducibility means that continuous performance testing should be applicable not only to enterprise-level infrastructure, but also to educational environments with limited resources. Therefore, the methodology separates regression-oriented validation from full-scale capacity testing. Regression detection can be performed in a minimal environment because it evaluates relative degradation compared with a stable baseline. Full-scale capacity testing requires larger infrastructure and is executed less frequently.

The reference environment may be implemented on a cloud instance with 1-2 vCPU, 2-4 GB RAM, and 20-30 GB SSD storage. It includes Docker Compose, the application under test, a lightweight database container, k6 as the

load generator. This configuration is sufficient for regression-oriented continuous performance testing.

In practical terms, the methodology includes six stages: identification of critical educational scenarios; implementation of k6 scripts; integration of test execution into CI/CD; collection and export of results; comparison with thresholds and baselines; and generation of a Quality Gate decision for the release.

As shown in Figure 1, the methodology begins with the identification of critical educational scenarios.

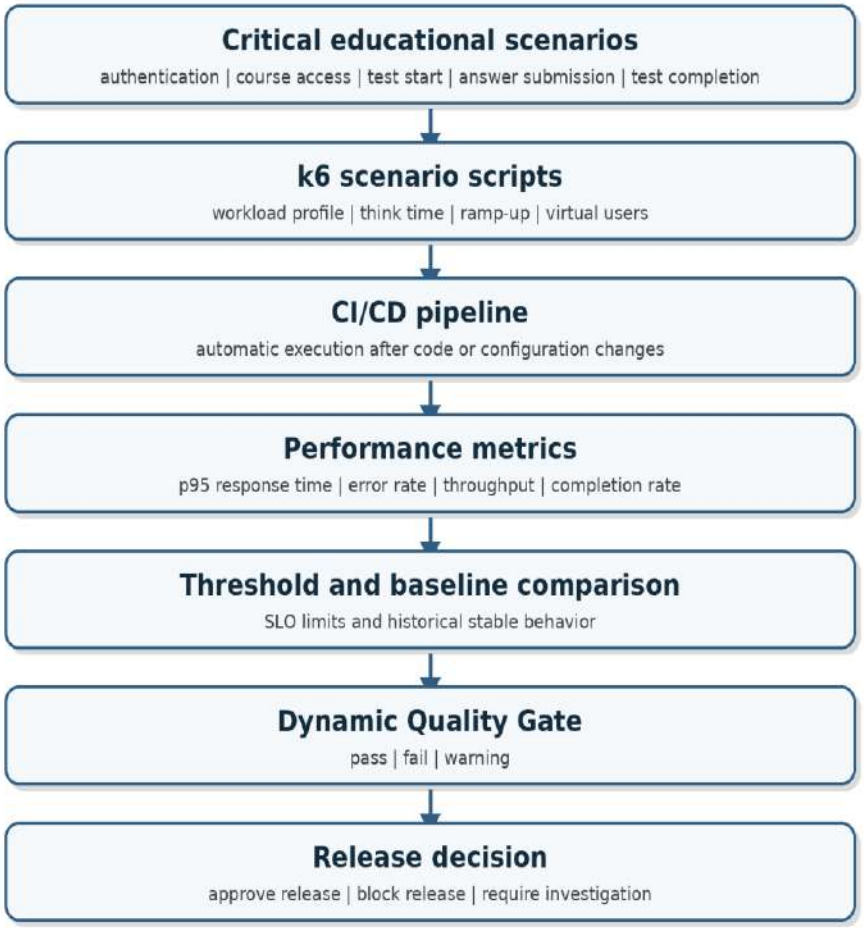


Figure 1. Architecture of k6-based continuous performance testing with dynamic Quality Gates

These scenarios are transformed into k6 scripts that reproduce user behavior under controlled workload conditions. The scripts are executed automatically in the CI/CD pipeline, and the collected metrics are compared with predefined thresholds and baseline values. The final output is a dynamic Quality Gate decision that determines whether the release candidate can be approved, blocked, or marked for additional investigation.

The Dynamic Quality Gate is defined as a release control mechanism that evaluates the results of continuous performance testing against acceptance rules. Unlike static pass/fail checks based only on fixed thresholds, the dynamic gate combines static criteria with baseline-aware comparison and scenario criticality.

Let m denote a performance metric observed during execution of scenario s. The gate decision is based on the comparison of the observed value $V_s(m)$ with a threshold $T_s(m)$ and a historical baseline $B_s(m)$. A simplified gate condition is represented as follows:

$$QG_s(m) = \begin{cases} 1, & \text{if } V_s(m) \le T_s(m) \text{ and } \Delta_s(m) \le \delta_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where $QG_s(m)$ is the Quality Gate result for metric m in scenario s; value 1 means that the gate passes, while value 0 means that it fails. $V_s(m)$ is the observed metric value, $T_s(m)$ is the allowed threshold, $\Delta_s(m)$ is the deviation from the baseline, and δ_s is the maximum acceptable baseline deviation for the scenario.

The deviation from the baseline is expressed as:

$$\Delta_s(m) = \frac{V_s(m) - B_s(m)}{B_s(m)} \quad (2)$$

where $B_s(m)$ is the baseline value of metric m for scenario s. Formula (2) makes it possible to capture regressions even when the absolute threshold is not violated, but the service behaves significantly worse than in previous stable runs.

The model assumes that different scenarios have different gate sensitivity. For example, answer submission in an online testing service should be treated as more critical than access to a non-essential informational page. Therefore, stricter thresholds and smaller allowable deviations should be assigned to educationally critical operations. Within k6, threshold logic can be directly encoded in test scripts, while baseline comparison can be implemented as an additional evaluation step in the CI/CD pipeline.

To illustrate the applicability of the proposed methodology, an educational information system similar to JetIQ is considered as a representative case of a distributed digital learning environment. The selected case reflects the operational logic of an E-University ecosystem, where several critical services support user authentication, access to learning materials, online assessment, and administrative workflows.

The case study focuses on five performance-sensitive scenarios: user authentication, course or workspace opening, online test session start, answer submission during an active test, and test session completion. These scenarios directly affect continuity of the educational process. In particular, answer submission and test completion are critical operations because their degradation may lead to loss of user progress or interruption of assessment activities.

Within the proposed methodology, each critical scenario is implemented as a dedicated k6 script or as a coordinated set of k6 scenarios. Scenario configuration includes virtual user behavior, request sequence, think time, ramp-up profile, expected thresholds, and baseline-aware interpretation rules. For the online testing module, a script may simulate a user who authenticates, opens a test session, submits several answers, and completes the test. The primary

metrics include p95 response time for answer submission, request failure rate, authentication latency, session completion success rate, and selected infrastructure indicators.

The low-cost environment supports three levels of validation, shown in Table 1. This layered structure allows educational institutions to introduce continuous performance testing gradually without requiring expensive infrastructure from the beginning.

Table 1

Levels of k6-based performance validation in educational information systems

Validation level	Purpose	Environment	Execution frequency	Main output
Smoke performance check	Detect obvious performance degradation	CI/CD runner or small VM	Each commit or merge request	Quick pass/fail result
Baseline regression test	Compare release candidate with stable baseline	Low-cost VM or staging instance	Before release approval	Dynamic Quality Gate decision
Extended load test	Evaluate behavior under expected academic peak load	Dedicated staging or cloud resources	Periodically or before exams	Capacity and bottleneck report

The proposed methodology provides a practical mechanism for introducing continuous performance validation into educational information systems under limited infrastructure conditions. Its main result is the integration of k6-based scenario execution, baseline comparison, and dynamic Quality Gate logic into a repeatable CI/CD-oriented process. This makes it possible to detect performance degradation before deployment and to use testing results directly in release decision-making.

The use of a low-cost environment changes the interpretation of performance testing results. Its purpose is not to determine the absolute maximum capacity of an educational platform, but to detect relative performance regressions between software versions. A small test environment cannot fully reproduce production-scale traffic, but it can reveal whether a new release introduces slower response times, higher error rates, or unstable behavior under the same controlled workload.

The methodology separates two levels of validation. The first is regression-oriented continuous testing, which can be executed frequently in a low-cost CI/CD environment. The second is full-scale capacity testing, which requires more powerful infrastructure and should be executed periodically or before high-risk academic events such as examinations, admission campaigns, or mass online assessment sessions. This separation makes the approach realistic for educational institutions with limited computing resources.

The main advantage of the proposed approach is economic accessibility. Educational institutions and small development teams can introduce continuous performance testing without deploying a complex Kubernetes cluster or maintaining expensive observability infrastructure. At the same time, the methodology remains compatible with more advanced environments. If additional resources become available, the same k6 scripts and Quality Gate logic can be reused with Prometheus, Grafana, Kubernetes, cloud runners, or dedicated staging environments.

The limitations of the low-cost environment should also be recognized. It is not suitable for determining the final scalability limit of the system or validating the maximum number of simultaneous users. It is also sensitive to resource noise caused by shared infrastructure. Therefore, results should be interpreted primarily as regression indicators rather than absolute production capacity measurements.

Conclusions. This paper proposed a methodology for continuous performance testing of educational information systems based on k6 and dynamic Quality Gates. The methodology is aimed at early detection of performance regressions and release-oriented validation of critical educational services in CI/CD environments.

The proposed low-cost implementation demonstrates that continuous performance testing can be introduced gradually, even under limited infrastructure conditions. A small virtual machine or free-tier cloud instance is sufficient for regression-oriented validation if the goal is to compare releases under the same controlled workload. Full-scale capacity testing remains necessary for evaluating maximum throughput, but it can be performed less frequently and in a dedicated environment.

The practical value of the approach lies in improving reproducibility of performance tests, reducing the risk of deploying releases with hidden performance regressions, and supporting faster identification of bottlenecks in critical educational workflows. Future research may focus on formalizing dynamic baseline calculation, automating Quality Gate configuration, and validating the methodology on real educational platforms under different academic load profiles.

References

1. Humble, J. and Farley, D. (2010) *Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation*. Boston: Addison-Wesley.

2. Gregg, B. (2020) *Systems Performance: Enterprise and the Cloud.* 2nd edn. Boston: Addison-Wesley.

3. Newman, S. (2021) *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems.* 2nd edn. Sebastopol: O'Reilly Media.

4. Heinrich, R., van Hoorn, A., Knoche, H., Li, F., Lwakatare, L.E., Pahl, C., Schulte, S. and Wettinger, J. (2017) Performance Engineering for Microservices: Research Challenges and Directions, in Companion of the 8th ACM/SPEC *International Conference on Performance Engineering.* DOI: 10.1145/3053600.3053653.

5. Camilli, M., Guerriero, A., Janes, A., Russo, B. and Russo, S. (2022) Microservices Integrated Performance and Reliability Testing, in Proceedings of the *IEEE/ACM International Conference on Automation of Software Test.* DOI: 10.1145/3524481.3527233.

6. Vasilevskii, A., Kachur, O., Balsamo, S., Knottenbelt, W., Abad, C. and Shang, W. (2024) Self-Service Performance Testing Platform for Autonomous Development Teams, in Companion of the 15th ACM/SPEC *International Conference on Performance Engineering*. DOI: 10.1145/3629527.3652268.

7. Santos, L.B.R., de Souza, E.F., Endo, A.T., Trubiani, C., Pinciroli, R. and Vijaykumar, N.L. (2025) Performance regression testing initiatives: A systematic mapping, *Information and Software Technology*, 179, article 107641. DOI: 10.1016/j.infsof.2024.107641.

8. Fischer, S., Urbanke, P., Ramler, R., Steidl, M. and Felderer, M. (2024) An Overview of Microservice-Based Systems Used for Evaluation in Testing and Monitoring: A Systematic Mapping Study, in Proceedings of the *5th ACM/IEEE International Conference on Automation of Software Test*, pp. 1–11. DOI: 10.1145/3644032.3644445.

9. Ramu, V.B. (2023) Optimizing DevOps Pipelines with Performance Testing: A Comprehensive Approach, *International Journal of Computer Trends and Technology*, 71(6), pp. 35–41. DOI: 10.14445/22312803/IJCTT-V71I6P106.

10. Kovalenko, O.O. and Palamarchuk, Ye.A. (2020) Dynamic results of stress quarantine testing of the JetIQ VNTU learning management system and G

Suite for Education services', in Internet-Education-Science 2020: Proceedings of the *XII International Scientific and Practical Conference*, pp. 157–158.

11. Storozhuk, Yu.V. and Kovalenko, O.O. (2025) Method for determining target performance indicators of software, *Visnyk Vinnytskoho Politekhnichnoho Instytutu*, 4, pp. 108–117. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-181-4-108-117.

Ryzhov Igor Mykolaiovych, Doctor of Juridical Sciences, Professor, Honored Lawyer of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8009-5895

Yashchuk Petro Volodymyrovych, Senior Lecturer at the Department of the Khmelnytskyi Regional Institute of Postgraduate Pedagogical Education named after Anatolii Nazarenko; Chair of the Board of the NGO "Association of Doctors of Khmelnytskyi"; Head of the Scientific and Practical Center "Vital Security", Khmelnytskyi, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-9367-0604

VITALITY AND VITAL SECURITY: SOCIO-PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF RESILIENCE FORMATION IN CRITICAL LIFE SITUATIONS

Abstract

The article offers an interdisciplinary socio-philosophical, psychological, and anthropological analysis of vitality as an integrative category that characterises the capacity of individuals and social communities to preserve life potential, value-based orientation, and subjectivity under conditions of critical life situations. The methodological relevance of introducing the authorial concept of the vital-crisis situation is substantiated as an analytical framework for describing states in which intensive threats are combined with a deficit of coping resources, thereby significantly increasing the risk of loss of viability, autonomy, and subjectivity.

It is demonstrated that vitality cannot be reduced to psychophysiological parameters of functioning, but rather constitutes a multidimensional anthropological phenomenon encompassing bodily, psycho-emotional, motivational, and moral-value components. Vitality is realised through the

subject's capacity to make responsible existential choices and to preserve dignity in boundary states characteristic of critical life situations. Boundary and vital-crisis states are interpreted as sensitive indicators of the level of vitality, since it is precisely under such conditions that the distinction between constructive and destructive modes of experiencing reality becomes most explicit, determining the preservation or erosion of subjectivity.

On the basis of a synthesis of philosophical, psychodynamic, stress-related, and psychometric approaches, the theoretical preconditions for the operationalisation of vitality are clarified, and its interrelation with the phenomena of resilience, adaptive energy, and moral autonomy is explicated. The antivital consequences of deliberately destructive social influences are outlined, manifesting themselves in decreased life tone, erosion of value-normative orientations, and growing existential and social vulnerability.

In conclusion, the conceptual integration of vitality with *vital security* is substantiated as a humanitarian and anthropocentric paradigm aimed at integrating individual life resources with legal, educational, psychosocial, and institutional mechanisms of support and prevention of degradation of the individual's internal life potential.

Keywords: vitality; vital security; vital-crisis situation; boundary states; resilience; institutional ethicality (*Sittlichkeit*); vital victimhood; existential choice.

Introduction

In the contemporary world marked by multidimensional threats, the problem of preserving life and human integrity acquires renewed theoretical and practical significance. The full-scale war in Ukraine, terrorist attacks, massive missile and aerial strikes, information-psychological operations, and systemic humanitarian crises create an environment in which individuals, communities, and social institutions constantly function under conditions of heightened uncertainty, risk,

and the threat of losing social and existential support [14]. Such a condition imparts a marginal character to social existence in the sense of socio-existential boundary conditions and the marginalisation of certain social groups, manifesting itself in a departure from stable normative, value-based, and institutional frameworks of being [10; 11].

In response to this complex of crises, the need for a specific approach to security becomes increasingly evident – namely, the concept of ***vital security***. It is grounded in the recognition that the protection of life and physical health, although necessary, constitutes an insufficient condition for sustainable survival and development under multifactorial threats [14]. *Vital security* is oriented towards preserving mental and social integrity, human dignity, freedom of moral choice, and the individual's capacity to remain a subject of action even in situations of violence, uncertainty, and prolonged crisis pressure [12; 13; 15–17]

The category of vitality, widely developed in philosophical anthropology, psychology, and biomedical sciences, emerges as a key concept for understanding what enables individuals to withstand the burden of war, extreme crisis situations, trauma, loss, and destruction [1; 3; 4].

Within contemporary socio-philosophical reflection, it is emphasised that the analysis of vitality leads to an unstable boundary between constructive and destructive forms of social experience. The problem of life force arises primarily in the context of the individual's capacity to remain "on the side of life" in boundary situations, when the subject encounters demands of reality that exceed adaptive capacities and internal reserves. Under such conditions, *vitality* manifests itself not merely as a psychophysiological resource, but also as an existential and moral capacity to preserve integrity, meaningful orientation, and subjectivity [8; 9; 10]. This perspective encompasses not only the biopsychological dimension but also a deeper existential level: human vitality appears as a morally charged

capacity to choose the constructive precisely where the logic of destruction seems inevitable.

Within the framework of this study, ***vital-crisis situations*** are conceptualised as states of individual or collective existence in which high-intensity threats converge with a deficit of coping resources, and the boundary between life and death, integrity and destruction assumes the character of an immediate existential reality. The authorial concept of the vital-crisis situation captures not merely the presence of danger, but a qualitative transformation of the subject's internal conditions of existence, manifested in heightened vulnerability, a narrowing of the horizon of meanings, intensified moral choice, and an increased risk of loss of subjectivity. Under such circumstances, the balance between constructive and destructive modes of experiencing reality becomes decisive, directly shaping the preservation of dignity, resilience, and the capacity for meaningful action. Accordingly, the introduction of the concept of vital-crisis situations establishes a necessary methodological bridge between the analysis of boundary conditions and the subsequent development of the concepts of vitality and vital security [12; 13].

This study adopts an interdisciplinary socio-philosophical perspective grounded in philosophical anthropology, the psychology of crisis states, and humanitarian-oriented security approaches [14].Its methodological foundation rests on conceptual-analytical and hermeneutic approaches, which enable a refined clarification of the categories vitality, boundary conditions, and vital-crisis situation, as well as their systematic correlation with the concepts of resilience, moral autonomy, and adaptive energy [8; 9].

In this study, operationalisation is understood primarily as the theoretical delineation of potential indicators and analytical levels of vitality and related states, thereby providing a foundation for subsequent empirical validation. The method of theoretical synthesis facilitates the integration of philosophical,

psychodynamic, stress-related, and psychometric interpretations of vitality [3; 7], while conceptual modelling is employed to substantiate the relationship between vitality and vital security as an anthropocentric humanitarian paradigm [12; 13].

Contemporary psychological and social research emphasises the multidimensional nature of vitality, conceptualising it as an integrative phenomenon encompassing bodily energy, emotional-volitional resources, motivational orientation, inner freedom, the capacity for self-actualisation, and the preservation of personal dignity. Of particular significance is the concept of anthropic vitality, which describes human vitality as an integration of physical, psychological, and moral forces [8; 10; 11]. War and crisis-related forms of violence constitute an environment that deliberately undermines this integration, generating boundary situations in which not only physical endurance but also the capacity to preserve values, identity, and social agency is critically tested [6; 8; 14]. At this intersection, the concept of vital security emerges as a humanitarian and anthropocentric paradigm that integrates the protection of life and health with the safeguarding of mental integrity, dignity, moral orientation, and the individual's capacity for resistance to destructive influences [12; 13; 14]. Unlike traditional security models that focus primarily on external factors, vital security conceptualises the individual as the central referent and regards vitality as a key resource of state and societal resilience [12; 13].

In light of these contemporary challenges, it becomes imperative not only to renew scholarly attention to the category of vitality, but also to develop a conceptual model that integrates the individual's internal life force with institutional mechanisms of its preservation.

This shift enables a transition from understanding vitality as an individual state toward conceptualising it as the foundation of vital security — an integrated system that supports society's capacity to withstand extreme crisis-related threats,

dehumanisation, and large-scale destructive processes characteristic of contemporary Ukraine.

Problem Statement.

The problem of vitality becomes particularly acute precisely when an individual, a community, or a professional group finds itself in a boundary situation in which the question of preserving life and subjectivity acquires an explicitly existential character. The practical experience of the full-scale war in Ukraine convincingly demonstrates that under conditions of prolonged violence, constant threats of physical destruction, and the disruption of social ties and habitual life-support institutions, decisive significance is attributed not only to material resources or the level of external protection, but also to the internal vital resources of individuals and communities [8; 12; 13].

In particular, behavioural patterns observed among civilians, medical professionals, educators, volunteers, and military personnel in zones of active hostilities indicate that the capacity to preserve moral orientation, identity, a sense of dignity, and inner autonomy functions as a key factor of survival, adaptation, and recovery. This experience leads to the conclusion that vitality cannot be regarded exclusively as an individual psychological characteristic, but must instead be conceptualised as a systemic resource of resilience that is formed, sustained, and reproduced through the interaction of personal, social, and institutional factors [6; 8].

Accordingly, war as a boundary socio-existential experience provides grounds for rethinking vitality as a practically verified foundation of vital security, manifested not only in the capacity to resist destruction, but also in the ability to preserve humanity, social agency, and recovery potential even under conditions of radical threats to existence [12; 13].

Contemporary conditions of war and multifactorial crisis threats generate an environment of heightened and persistent risk, within which the analysis of crisis

consciousness requires careful consideration of the interaction between individual and social determinants. In this context, diverse neurotic symptoms accompanying social conflicts in transitional societies emerge as the outcome of the intersection between personal psycho-emotional processes and structural social transformations [3; 6].

From an analytical perspective, recourse to theories of identity development acquires particular methodological significance, since it makes it possible to trace how individual crisis experiences are linked to large-scale historical, social, and cultural transformations.

E. Erikson's assertion that identity crisis in individual life cannot be separated from the crisis dynamics of historical development necessitates the integration of macro- and micro-sociological perspectives in the analysis of conflict-related and neurotic states of the personality under conditions of profound societal rupture [6].

For individuals situated in conditions of marginality, vitality cannot be reduced to mere biological survival; rather, it emerges as an internal life force that sustains dignity, moral orientation, the capacity for meaningful action, and sense-making even in situations of radical danger – that is, in a boundary condition "between life and death" – enabling the individual to remain "on the side of life" [8].

The boundary situation, as a socio-existential phenomenon, assumes in its vital-crisis manifestations the character of an extreme intensity of being, in which the rupture between constructive and destructive modes of human experience becomes sharply pronounced. Under conditions of such existential intensity, constructive experience supports the preservation of personal integrity and the maintenance of capacities for empathy, reflection, and social interaction, whereas destructive experience precipitates the fragmentation of the integrated self, a

decline in life tone, a loss of trust in the world and in others, and the formation of depressive and aggressive patterns of response [3; 8].

Vital-crisis situations in contemporary society may be characterised as systemic states of destabilisation arising from war, violence, social ruptures, or large-scale humanitarian shocks, thereby reproducing conditions of boundary existence. A defining feature of such situations is that individuals or communities confront real or potential threats to life, security, and identity, while behavioural and psychological responses are shaped not only by external circumstances, but also by the level of internal life force, motivational structure, emotional resilience, and the degree of moral integration of the individual or group [12; 14].

The problematic nature of the situation under analysis is further intensified by the fact that crisis states burdened by social anomie acquire a distinctly anti-vital character. Anomie (from the Greek anomia, meaning “lawlessness” or “absence of norms”) in socio-philosophical and sociological discourse denotes a condition of disintegration of the normative-value system of society, in which generally accepted norms, values, and behavioural rules lose their regulatory capacity or become internally contradictory, while new mechanisms of social regulation have not yet been established [11].

Under such conditions, crisis processes affect not only the external parameters of human activity but also undermine the internal resources of resilience of both individuals and communities, eroding moral-value orientations, a sense of meaning, and the capacity for constructive and responsible action [8; 11]. The anti-vital effect of such states manifests itself not merely in the generation of fear, loss, and material destruction, but also in the formation within mass consciousness of feelings of helplessness, devaluation of effort, and the conviction that active existential choice is no longer possible.

In this context, the imperative emerges for a conceptual rearticulation of vitality as a resource that determines the individual’s capacity to affirm

constructive modes of orientation, sustain subjectivity, and preserve moral coherence in situations governed by the logic of destruction.

Concurrently, it becomes necessary to transcend an exclusively individual-psychological interpretation of vitality in favour of a socio-institutional model of its protection – namely, the articulation of the concept of vital security. Such integration lays the conceptual groundwork for the development of a comprehensive system of safeguarding and sustaining human life force, capable of securing its continuity even within the boundary condition "between life and death" – under conditions of war, extreme crisis threats, and other forms of organised violence [12; 13].

The Aim of the Study.

The aim of this study is to provide a theoretical and methodological substantiation of vitality as a foundational philosophical and psychological category that determines individual resilience in boundary and vital-crisis situations, conditions of extreme crisis threats, social destabilisation, and violent ruptures, as well as to elucidate its interrelation with the concept of *vital security* as an integral system for safeguarding and sustaining human life, dignity, and psychosocial integrity [8; 12; 13].

Within the framework of the stated aim, the study undertakes an analysis of key theoretical approaches to the conceptualisation of vitality in contemporary philosophy and social science, in particular within philosophical anthropology, psychodynamic and stress-related models, as well as current interdisciplinary concepts of resilience and psychosocial adaptation [1; 2; 3; 4; 5].

The research is further directed toward identifying how the concept of vitality may serve as a theoretical foundation for the development of *vital security* as a new humanitarian paradigm capable of safeguarding human life force under conditions of multifactorial threats, war, and prolonged crisis transformations [12; 13; 15–17].

Analysis of Recent Research and Publications.

The problematics of vitality as an expression of human life force span a broad disciplinary spectrum, extending from philosophical anthropology and psychology to medicine, sociology, and the humanities. Contemporary understandings of vitality are rooted in classical philosophical thought. Aristotle, through the concept of *entelechy*, articulated an inner principle of vital actualisation, while H. Bergson subsequently elaborated the idea of *élan vital* as a creative impulse sustaining the dynamism of life [1; 2]. These perspectives established the conceptual groundwork for interpreting vitality as a phenomenon irreducible to biological mechanisms alone, instead expressing the inner dynamics of life as manifested in its volitional, spiritual, and existential dimensions.

In the twentieth century, the concept of vitality received further elaboration within the psychoanalytic tradition. S. Freud, in his economic model of the psyche, conceptualised psychic energy (*cathexis*) as the foundation of human activity and vital tone, linking its depletion to the emergence of neurotic states [4]. C. G. Jung, W. Reich, D. Winnicott, and other theorists interpreted vitality as an expression of integrated psychic energy, emphasising that internal conflicts, frustrations, and trauma diminish vital impulse, whereas the harmonisation of inner psychic structures restores access to life energy [5]. A particularly significant contribution to the medico-psychological dimension was made by H. Selye, who, within the framework of stress theory, formulated the concept of “adaptive energy” — an immaterial yet critically important resource that determines the organism’s capacity to respond to threat and maintain equilibrium [3].

Eastern intellectual traditions have likewise exerted a substantial influence on contemporary interpretations of vitality, most notably through the Chinese concept of *Qi* and the Japanese *Ki*, which conceive life force as a dynamic flow of energy that can be cultivated, restored, and balanced through practices of breathing, movement, mindfulness, and bodily harmony. These perspectives have

further expanded the understanding of vitality as a phenomenon integrating bodily, emotional, spiritual, and social dimensions.

A significant stage in the development of scientific conceptions of vitality was marked by the establishment of systems for its empirical measurement, which facilitated the transition from abstract-theoretical reflection on life force to its operationalisation in psychological and medico-social research. Within this framework, vitality is conceptualised as a subjectively experienced state of internal energy, activity, and vital tone, reflecting the individual's capacity to sustain goal-directed activity, psychological equilibrium, and adaptive interaction with the social environment.

Thus, within psychometric approaches, the POMS questionnaire (McNair, Lorr, Droppleman) identified the factor of "energy/activity" associated with positive mental states and a general sense of vital capacity [7]. This is of fundamental importance, as it opens the possibility of operationalising vitality as a measurable indicator of individual resilience under conditions of crisis and boundary situations.

Subsequent empirical investigations have demonstrated that vitality displays well-defined behavioural correlates, including levels of physical and cognitive activation, motor dynamism, attentional focus, and the capacity to sustain prolonged goal-directed engagement even under conditions of sustained strain.

The elaboration of clinical indicators of life energy within medico-psychological research has enabled vitality to be conceptualised not merely as a psychological phenomenon, but as an integrative marker of quality of life, overall health, and adaptive potential, encompassing physical, psycho-emotional, and motivational dimensions of human functioning.

Consequently, within contemporary psychology vitality has consolidated its status as a formalised construct amenable to quantitative assessment and applicable to the diagnostic evaluation of individual resilience.

Within socio-philosophical inquiry, vitality is construed as a quality that becomes activated under conditions of radical danger and in states of precarious tension between constructive and destructive modes of social experience. Under such circumstances, the problem of life force manifests itself with particular acuity in boundary situations, when the subject stands at the threshold between life and death and is compelled to enact an existential choice oriented toward the preservation of life [8].

This conceptual framing provides the basis for articulating the existential dimension of vitality, within which vitality is understood not merely as a resource for survival, but as the capacity for reflective, value-mediated choice in contexts of radical threat.

Current psychological research conceptualises vitality as an integrative construct that brings together bodily energy, emotional resilience, motivational orientation, subjective well-being, and the individual's inner freedom. Vitality is further understood as a dynamic resource whose level fluctuates in response to the intensity of stress, the availability of social support, value orientations, and the individual's capacity for self-regulation.

Of particular relevance to the present study is the concept of *anthropic vitality*, according to which human vitality is conceived not merely as a biological resource, but as the capacity to preserve personal integrity, moral autonomy, dignity, and subjectivity. From this perspective, anthropic vitality functions as a criterion of resilience under conditions of war, extreme crisis threats, dehumanisation, and profound social ruptures [12; 13].

Vitality (Lat. *vitalis* — "pertaining to life") emerges as a multidimensional philosophical and psychological category encompassing not only the bodily-biological dimensions of human functioning, but also the psychic, emotional-volitional, motivational, and moral-value components that constitute the individual's inner life force. In this sense, vitality is understood not as a static

state, but as an integrative resource of the subject that determines the capacity to sustain resilience, subjectivity, and dignity in boundary — particularly vital-crisis — situations characteristic of war and other forms of existential and social destruction [15; 16].

Of particular importance for the present study is the *concept of anthropic vitality*, according to which human vitality is construed not merely as a biological resource, but as a capacity to preserve personal integrity, moral autonomy, dignity, and subjectivity. Within this conceptual framework, anthropic vitality functions as a criterion of resilience under conditions of war, extreme crisis threats, dehumanisation, and profound social ruptures [12; 13].

The historical origins of the category of vitality can be traced to ancient philosophy, where Aristotle conceptualised *entelechy* as an inner energy directing the organism toward the actualisation of its own nature and potentiality. In early modern philosophy, H. Bergson further developed this idea through the concept of *élan vital* – the creative impulse of life that overcomes inertial resistance and endows living development with a distinctive dynamism. These approaches established the foundations for understanding vitality as an ontological ground of existence that cannot be reduced to biological mechanisms [1; 2].

Subsequent conceptions of vitality evolved within the psychoanalytic tradition. In Freud's framework, psychic energy functions as a central condition of subjective activity: its free circulation sustains psychological health and the capacity for self-realisation, whereas its blockage leads to neurotic disturbances, exhaustion, and a decline in vital tone [4]. Jung, Reich, Winnicott, and other representatives of psychodynamic thought interpreted personal energy as a dynamic complex integrating bodily, emotional, and spiritual dimensions into a unified structure of the self (a coherent "I" that ensures inner integration and subjectivity) [5]. Within this conceptual logic, vitality is understood both as an

indicator of inner harmony and as a factor determining the capacity to overcome traumatic experience.

Contemporary scholarly thought increasingly reflects a shift from understanding vitality as an internal energetic state toward its interpretation as a complex anthropological phenomenon that determines the resilience of both individuals and societies in the face of military, crisis-related, and social threats, particularly in vital-crisis situations associated with the risk of depletion of life force and the erosion of subjectivity. Such an approach establishes the conceptual foundation for the development of *vital security* as a state of protection of human life force [12; 13; 17].

Conceptual Results and Discussion

Under conditions of war, extreme crisis threats, and prolonged social instability, particular significance is attached to the individual's capacity not only to survive physically, but also to preserve inner integrity, subjectivity, and moral orientation [8].

Within these circumstances, a specific type of socio-existential experience becomes salient – *vital-crisis situations*, in which threats to life are combined with the risk of depletion of internal life force, the erosion of meaning orientations, and the loss of subjectivity [6; 8].

In the present article, the *vital-crisis situation* is treated as an analytical framework rather than as a synonym for danger or stress. It is understood as a specific configuration of *socio-existential conditions* in which: (1) the threat is characterised by high intensity and prolonged duration; (2) coping resources (psychological, social, and institutional) are insufficient or exhausted; (3) horizons of meaning are narrowed and normative–value supports are weakened; and (4) the risk of losing autonomy and subjectivity increases. Such an analytical framework makes it possible to coherently integrate the analysis of boundary existence with the further conceptual elaboration of vitality and the transition toward the concept

of *vital security* as a system for sustaining the life potential of individuals and communities [6; 8].

Contemporary psychology has made substantial progress in the *operationalisatio*n of the concept of *vitality*. Within this approach, the notion of *subjective vitality* has emerged, encompassing the phenomenologically experienced sense of energy, activity, and inner dynamism of the individual, and is regarded as one of the key indicators of vital tone and psychosocial capacity [7].

Empirical research demonstrates that vitality is constituted by a constellation of interrelated factors, including physical health, emotional resilience, personal autonomy, motivational engagement, and value orientation. Crucially, vitality cannot be confined to a purely psychophysiological parameter; rather, it operates as an indicator of the individual's holistic engagement with lived experience, wherein moral judgement, reflective capacity, and tolerance for uncertainty assume a formative role in shaping existential orientation and behavioural coherence [7; 8].

Within medical psychology, vitality may be interpreted through the lens of H. Selye's stress theory, which introduced the notion of *adaptive energy* as a key resource of the organism determining its resistance to threats and its capacity to restore equilibrium. In Eastern health traditions (Chinese *Qi* and Japanese *Ki*), life force is conceptualised as a flow of energy sustaining both bodily and spiritual harmony. Despite differences in terminology and conceptual frameworks, these approaches converge in a shared insight: vitality constitutes a fundamental inner potential that enables the human being to withstand destructive influences, preserve integrity, and realise one's nature even under adverse existential conditions [3; 14].

The foregoing analysis necessitates a transition toward understanding vitality as a resource that secures not merely physical survival, but, more fundamentally, the individual's moral–existential capacity for choice. Within

contemporary humanitarian perspectives, vitality is interpreted as an integral characteristic emphasising the preservation of personal integrity, moral autonomy, and dignity as core dimensions of human vitality [8; 10]. In this framework, vitality emerges not simply as life energy, but as a spiritual–moral force that sustains the human being within the horizon of humanity, enables resistance to dehumanisation, and preserves the freedom of value-based choice even under conditions of extreme threat.

In this regard, anthropic vitality is closely intertwined with the concept of morality understood as the inner value–normative foundation of human vitality. In scholarly discourse, morality is interpreted as an internal disposition of the individual to act in accordance with conscience and free will, in contrast to moral norms, which constitute a system of external social rules and regulatory requirements [10].

The term morality (etymologically derived from the Old Slavic nravŭ – denoting character or an inner human quality; in the philosophical tradition correlated with the Latin moralitas and the German Sittlichkeit) denotes the subject's capacity for conscious ethical choice, autonomous determination of the boundaries of what is permissible and humane, and responsibility for one's actions [9]. In this sense, morality functions not as an external prescription, but as an internal regulator of behaviour that secures the preservation of personal integrity, dignity, and a life-affirming orientation under conditions of existential and social threat.

Within the present study, a principled distinction is drawn between the concepts of morality, moral norms, and ethicality (nravstvennost). The term ethicality is employed as a category of the philosophical–anthropological tradition to denote the deep ethical core of personality and does not carry a colloquial or everyday connotation [9].

Conceptually, the category of ethicality is aligned with the classical tradition of European practical philosophy, above all with Hegel's notion of Sittlichkeit as a form of socially embodied ethical life, as well as with contemporary communitarian interpretations of moral identity (Ch. Taylor; A. MacIntyre), within which moral autonomy is understood as an internally grounded life practice embedded in value narratives, traditions, and institutional contexts [9–11].

If moral norms constitute a normative–ethical system of socially institutionalised values, rules, and prescriptions regulating individual behaviour (moralitas), morality is understood as the individual's inner value–normative autonomy — that is, the capacity for responsible self-determination, conscious ethical choice, and action in accordance with one's conscience. Ethicality (nravstvennost), in turn, is conceptualised as the deep anthropological and existential core of personality, determining its orientation toward life, the preservation of dignity, subjectivity, and humanity in boundary and crisis situations. In this sense, Hegel's notion of Sittlichkeit (ethical life of the community rooted in social practices and institutions) represents the level at which individual ethicality becomes socially embodied and consolidated within the structure of collective existence [9–11].

For the purposes of generalisation and structural consolidation of the above terminological distinction, it is appropriate to present it in the form of an analytical table.

The table presented does not replace a detailed analytical discussion; rather, it serves as a conceptual reference point for the subsequent use of the above categories throughout the text. Hereafter, these concepts are employed in the specified meanings as level-based analytical markers, and their repeated extended clarification is not required unless otherwise indicated.

Table 1

Terminological and Level-Based Differentiation of Moral–Ethical Categories in the Context of Vital Security

Analytical Level	Concept	Core Meaning (Fixed Usage)	Function within the Vital Security System
Socio-normative	Moral norms	An external, socially institutionalised system of norms, values, and prescriptions regulating individual behaviour from outside.	Ensures basic normative coordination of behaviour and establishes minimum boundaries of permissibility.
Anthropological–existential	Morality / Moral autonomy	The subject's internal capacity for responsible ethical choice, self-determination, and action in accordance with conscience.	Sustains subjectivity, dignity, and the capacity for life-affirming choice in boundary situations.
Existential–anthropological (deep level)	Ethicality (nravstvennost)	The deep existential-moral core of personality that determines orientation toward life, humanity, and dignity irrespective of external pressure.	Stabilises vitality in situations of radical threat and moral disintegration.
Socio-institutional	Sittlichkeit	The ethical life of the community – a constellation of social practices, customs, and institutions through which individual morality and ethicality acquire social form.	Institutionally consolidates vital orientation and transforms it into a component of societal resilience.

With reference to the tradition of classical German philosophy, it is appropriate to note that *Moralität* primarily designates the internal dimension of the subject's moral autonomy, whereas *Sittlichkeit* represents the socio-

institutional “ethical life” of the community – that is, the established practices, norms, and institutions through which individual morality acquires social embodiment. It is precisely in this socio-institutional sense that the concept of *Sittlichkeit* is employed in the present study [9].

Under these conditions, the individual’s inner moral core emerges as a decisive factor shaping the capacity to act in accordance with the principles of good, justice, responsibility, and humanity, thereby sustaining a resilient orientation toward life even in the presence of radical threats [10]. In this understanding, morality secures the internal coherence of life choices and behavioural strategies, enabling the individual to preserve humanistic commitments under conditions of existential tension.

Within the scientific–philosophical domain, morality is construed as an internal system of values and moral convictions grounded in the personal comprehension of good and evil and determining the subject’s capacity for autonomous moral choice. In this interpretation, it is conceptually aligned with the traditions of European philosophical thought, in particular with the notions of *Moralität* and *Sittlichkeit*, which articulate the idea of inner moral autonomy and an ethically grounded mode of life.

In contrast to *moral norms* as a system of externally imposed social rules and prescriptions regulating individual behaviour alongside legal requirements, morality emerges as an internal disposition of the personality expressing its deep value orientation, capacity for responsible self-determination, and conscious choice in favour of humanity and the preservation of life. Within this analytical perspective, *morality* functions as a *fundamental inner regulator of vitality*, sustaining personal integrity and resilience in situations of social and existential challenge.

The conducted theoretical and methodological analysis of *vitality* as a philosophical–psychological category substantiates the necessity of its integration into a

broader security context [12; 13; 15–17]. This perspective enables a transition from conceiving vitality merely as an internal psycho-energetic resource of the individual toward understanding it as a key anthropocentric factor in safeguarding life, dignity, and resilience under conditions of multifactorial threats.

The conceptualisation of *vitality* is grounded in its systematic integration with institutional, social, and humanitarian mechanisms of life protection, enabling a shift beyond an exclusively individual–psychological understanding of life force toward the formulation of the concept of *vital security* [12; 13; 15–17]. Within this framework, vitality is no longer treated merely as an intrapsychic resource, but as an anthropocentric factor structuring the preservation of life, dignity, and resilience under conditions of multifactorial threat.

At the same time, the analytical development of this paradigm necessitates the introduction of the authorial notion of *vital victimhood*, understood here not as a fixed identity position, but as a dynamic state of diminished vitality emerging under prolonged crisis, violence, and dehumanising influences. This state reflects the progressive erosion of life force, subjectivity, and moral autonomy, and therefore requires targeted humanitarian prevention and supportive intervention.

From the standpoint of the present study, an authorial interpretation of *vitality* is thus proposed within the framework of vital security, aimed at capturing both the constructive and degenerative trajectories of human life potential under conditions of sustained social and existential pressure.

For the purposes of conceptual operationalisation of *vital victimhood*, it is appropriate to delineate its principal analytical indicators (criteria), which may serve as a basis for subsequent empirical investigation and applied research [15–17]:

1. Energetic–motivational decline. A persistent reduction in vital tone, initiative, and the capacity for sustained goal-directed activity, accompanied by diminished behavioural activation and motivational engagement.

2. Semantic reduction. Constriction of future-oriented planning horizons, devaluation of prospective life goals, and the predominance of fatalistic or resignation-oriented cognitive attitudes.

3. Erosion of moral autonomy. Weakening of internal ethical reference points, increased external regulation of behaviour, heightened conformity under social or situational pressure, and reduced capacity for independent moral judgement.

4. Deactivation of subjectivity (agency attenuation). A shift from an active agentic position toward a predominantly reactive or objectified mode of functioning, characterised by the dominance of passive coping strategies and diminished self-directed action.

5. Heightened social susceptibility to manipulation. Increased suggestibility, dependence on authoritative figures or group pressure, and the internalisation of a victim role as a dominant behavioural and interpretative pattern.

Vitality in the context of vital security is understood as an integral property of individuals and communities that expresses the human capacity to preserve inner life force, personal integrity, moral autonomy, and subjectivity in boundary situations shaped by existential, social, or security-related threats, as well as to exercise conscious, value-oriented choice in favour of life, dignity, and humanity [12; 13; 15–17].

Within this interpretation, *vitality* appears not merely as a condition of individual survival, but as a fundamental resource of vital security that enables both the individual and society to resist dehumanisation, destructive influences, and systemic crisis processes, while sustaining an orientation toward life as a basic anthropological and axiological foundation [12; 13]. It is precisely through vitality that vital security acquires its anthropocentric content, integrating the inner life

resources of the person with the social, institutional, and cultural mechanisms of their preservation and support.

This conceptual perspective makes it possible to proceed to the analysis of the next key dimension – the interpretation of boundary and vital-crisis situations as a specific indicator of the level of human vitality [6; 8; 12].

Military hostilities, extreme crisis events, disasters, captivity, and experiences of loss create conditions in which the erasure of the boundary between life and death ceases to be a metaphor and becomes an immediate existential reality [8; 12].

Under conditions of radical threat, the problem of vitality acquires particular acuity, as the subject is confronted with the necessity of an existential choice – whether to preserve a life-oriented stance or to submit to the logic of destruction. Boundary situations clearly demonstrate that human life force encompasses the capacity to mobilise not only physical, but also emotional, cognitive, and value-based resources, which collectively constitute the foundations of subjectivity, resilience, and responsible self-determinatio [6; 8; 12].

At the same time, such situations also reveal the limits of human vitality. Constructive modes of experiencing crisis circumstances contribute to the strengthening of resilience, the development of empathy, the consolidation of meaning orientation, and the capacity to support others. Conversely, destructive patterns of response lead to the disintegration of the coherent self, a decline in inner vital tone, the formation of depressive and aggressive reactions, social withdrawal, and the gradual degradation of personality [3; 8; 12].

The foregoing analysis underscores that *vitality is not merely an individual psychological attribute, but also a socially constituted resource* that requires appropriate cultural, axiological, and institutional conditions for its full development and sustainability [10; 11; 12]. This consideration logically leads to a transition from the analysis of boundary situations to an examination of the anti-

vital content of crisis states, which are characterised by a persistent sense of threat, fear, and uncertainty, a diminished capacity for constructive action, and the erosion of moral and value orientations [3; 14].

War, alongside the interconnected humanitarian, socio-economic, demographic, informational-psychological, and existential crises it generates, significantly amplifies the anti-vital impact of contemporary threats, rendering boundary situations an everyday reality. Under these conditions, every act of sustaining vitality acquires not only individual but also social and civilisational significance, as it directly concerns the capacity of individuals and communities to withstand degradation, disintegration, and the erosion of humanistic orientations [10; 12; 13].

In response to the cumulative impact of these crises, a need emerges for a qualitatively distinct approach to security – the concept of vital security. It is grounded in the recognition that the protection of life and physical health constitutes a necessary but insufficient condition for sustainable survival and human development under multifactorial threats [14]. Vital security is therefore oriented toward the preservation of psychological and social integrity, human dignity, the freedom of moral choice, and the individual's capacity to retain subjectivity and agency even under conditions of violence, uncertainty, and prolonged crisis pressure [12; 13; 15–17].

The implementation of such an approach presupposes the integration of legal, medical, psychological, social, and educational mechanisms which, taken together, constitute an infrastructure of resilience for both the individual and society [14]. Vital security thus emerges as a system of safeguards aimed at ensuring that the individual's inner life force is not undermined by war, crises, disasters, or processes of dehumanisation, but instead receives the necessary support and conditions for its preservation and further development [12; 13; 15–17].

Within this framework, special attention is devoted to the conceptualisation of the role of moral integrity and moral autonomy as value-normative foundations shaping the vitality of individuals and communities [9–11; 12].

In philosophical-anthropological terms, moral integrity (*nravstvennist*) is understood as the inner moral core of the personality that determines its capacity to act in accordance with the principles of good, justice, responsibility, and humanity, thereby sustaining a stable orientation toward life under conditions of existential and social threat [10; 11].

Within the European philosophical tradition, this notion is conceptually associated with the German term *Sittlichkeit*, which denotes the ethical life of a community, embedded moral practice, and the integration of individual values into the system of social relations. In contrast to morality understood as a set of externally imposed norms and prescriptions regulating individual conduct alongside legal requirements, *nravstvennist* and moral autonomy — as articulated within the framework of *Sittlichkeit* — express the subject's internal ethical self-determination and capacity for autonomous moral choice [9–11].

From this perspective, human vitality proves to be intrinsically dependent on the axiological and cultural milieu within which it is constituted and exercised, and, consequently, on the overall ethical health of the community. Education and upbringing assume a strategic role in this dimension, insofar as they are directed not merely toward the transmission of knowledge and competencies, but toward the cultivation of worldview orientations, meaning-forming structures, and moral dispositions that constitute the very foundation of vitality and of the capacity to withstand dehumanising influences [10; 11; 16; 17].

Yet under prolonged crisis conditions, one observes not only mechanisms of sustaining and restoring vitality, but also processes of its systematic depletion, structural distortion, and gradual erosion, which engender heightened existential vulnerability in both individuals and communities [3; 14].

Concurrently, the disruption of value-normative foundations, the erosion of *nravstvennist (moral integrity)*, and the degradation of the ethical milieu under conditions of war and multifactorial crises create the conditions for the emergence of a specific state of diminished vitality, which may be analytically conceptualised through the category of vital victimhood. Whereas vitality functions as a resource for the preservation of life, dignity, and subjectivity, its weakening or deformation entails an increased vulnerability of individuals and communities to destructive influences, violence, manipulation, and processes of dehumanisation [12; 13].

Within this analytical framework, vital victimhood is conceptualised as an analytical category denoting both a state and a dynamic process of the erosion or substantial diminution of an individual's inner life force, accompanied by the progressive weakening of moral autonomy, subjectivity, and the capacity for constructive self-determination under conditions of prolonged existential, social, and security-related threats [12; 13].

In the context of vital security, vital victimhood denotes an integral state of heightened existential vulnerability affecting individuals or social groups, manifested in diminished resilience, the loss of meaning orientations, the disorganisation of value structures, and an increased propensity toward passivity, dependency, fear, and the internalisation of the victim role as a dominant mode of responding to crisis influences [12; 13].

From an analytical perspective, the dynamics of the erosion of vitality under conditions of war and multifactorial crises may be represented as a sequential chain of vital-crisis transformations. A vital-crisis situation emerges through the convergence of resource deficits, states of social anomie, and dehumanising influences, leading to the erosion of meaning orientations and the weakening of individual moral autonomy. A further consequence of this process is subjective deactivation – the gradual loss of the capacity for responsible action, self-

determination, and an active life stance — which ultimately culminates in the formation of a state of vital victimhood [3; 12–14].

Conversely, the concept of vital security emerges as a coherent system of mechanisms designed to interrupt this destructive chain [12; 13]. These mechanisms encompass education and upbringing as a formative space for cultivating value-based and meaning-oriented resilience; law as an instrument for safeguarding dignity and subjectivity; psychosocial support as a means of restoring internal resources; and social and humanitarian institutions that establish the conditions necessary for the preservation and regeneration of the life force of individuals and communities [14; 15–17].

It should be emphasised that the proposed concept of vital security fundamentally differs from conventional approaches within the field of human security, including *human security*, *health security*, and concepts of *societal resilience*. Whereas these models predominantly focus on external conditions of protection – such as access to resources, healthcare services, social infrastructure, or the institutional capacity of society to recover – vital security foregrounds the internal anthropological dimension of life preservation.

Its central referent is not merely a safe environment, but rather the capacity of individuals and communities to sustain vital force, moral autonomy, subjectivity, and an orientation toward humanity in boundary and vital-crisis situations. Viewed from this conceptual perspective, vital security complements and deepens existing humanitarian paradigms by integrating institutional mechanisms of protection with the analysis of the existential, value-based, and psychosocial foundations of human resilience [12–17].

Within the classical approaches to victimhood, analytical attention is primarily directed toward criminological or psychological determinants. By contrast, vital victimhood is conceptualised as a multidimensional, anthropocentric phenomenon encompassing the moral–axiological, psychosocial, existential, and secu-

rity-related dimensions of human existence [12; 13]. It emerges not only from individual characteristics, but also under the influence of destructive social processes, crisis-laden environments, and deficits in supportive institutional frameworks [14].

In the architecture of vital security, vital victimhood is conceptualised as an object of targeted governance and preventive intervention [12; 13; 15–17]. This does not imply control over the individual as such, but rather the creation of conditions, mechanisms, and policy frameworks aimed at reducing vital vulnerability, restoring vitality, strengthening moral autonomy, and reactivating the subject's capacity for active, responsible, and life-affirming agency. On this basis, overcoming vital victimhood is identified as one of the key objectives of vital security as a humanitarian-oriented system dedicated to safeguarding life, dignity, and human resilience under contemporary threat conditions [12; 13; 15–17].

In summary, vitality should be understood not merely as a psychological or biological phenomenon, but as an integral anthropological resource that determines the human capacity to preserve subjectivity, dignity, and resilience under conditions of radical threat and multifactorial crisis dynamics [8]. Vital security, in turn, constitutes a systemic framework for the protection and sustained support of this resource at the levels of the individual, the community, and the state [12; 13; 15–17]. Its humanitarian dimension entails the integration of ethical culture, education, and legal, medical, and psychological practices, with the aim of fostering a resilient society capable of withstanding war, dehumanisation, social disintegration, and other global challenges confronting contemporary civilisation [14; 16; 17].

Conclusions.

The present study confirms the achievement of its stated objectives and substantiates vitality as a foundational philosophical and psychological category that determines the resilience of individuals and communities in boundary and

vital-crisis situations, including contexts of violent destructive influence, social destabilisation, and multifactorial crisis threats [8]. The analysis demonstrates that vitality cannot be reduced to psychophysiological parameters of functioning; rather, it constitutes an integral anthropological phenomenon integrating bodily-biological, psycho-emotional, motivational, and moral-value dimensions, thereby enabling the subject to preserve life, inner integrity, dignity, and agency under conditions of radical threat [8; 10].

In addressing the research objectives, the analysis of philosophical-anthropological, psychodynamic, and stress-theoretical approaches demonstrates that vitality, as a multidimensional construct, is closely associated with the phenomena of resilience, adaptive energy, moral autonomy, and existential choice, which collectively constitute the internal resource enabling the individual to "remain on the side of life" under conditions of war and prolonged crisis transformation [3; 8; 14]. It is further clarified that the preservation of vitality depends not solely on the mobilisation of physical and psycho-emotional resources, but equally on the maintenance of value-based orientation and the internal moral coherence of action [9–11].

The study also establishes that boundary situations – including vital-crisis contexts such as war, armed attacks, technological and humanitarian disasters, systemic crisis threats, and the disruption of social environments – function as sensitive indicators of the level of vitality in both individuals and communities. Under such conditions, the differentiation between constructive and destructive modes of experiencing reality becomes especially acute, directly shaping the preservation or erosion of resilience, agency, and the capacity for responsible action [8].

It is theoretically substantiated that prolonged crisis-related, violent, and dehumanising influences may lead to a systemic erosion of vitality, manifested in

a sustained decline in vital tone, semantic contraction, erosion of moral autonomy, deactivation of agency, and increasing social vulnerability [3; 14].

On this basis, the scholarly legitimacy of delineating *vital victimhood* as an analytical category is established, as it captures a condition of diminished vitality and heightened susceptibility of individuals and communities to destructive, manipulative, and dehumanising influences [15–17].

One of the key outcomes of the present study consists in elucidating the relationship between vitality and the concept of vital security. It is demonstrated that the transition from an exclusively individual–psychological understanding of life force toward its interpretation within a security-oriented framework provides the conceptual foundation for the formation of vital security as an integral humanitarian and anthropocentric system aimed at the protection and support of life, dignity, and human psychosocial integrity [12; 13; 15–17]. Such a system integrates internal resources of vitality with legal, educational, psychosocial, and institutional mechanisms for their preservation and sustainable reinforcement.

It has been established that morality and moral integrity (in the sense of *Sittlichkeit*) constitute the core value-normative foundations of vitality, ensuring the internal coherence of life decisions, the capacity for responsible value-based choice, and a stable orientation toward life even under conditions of existential strain [9–11]. Within this perspective, education and upbringing emerge not merely as instruments of knowledge transmission, but as strategic determinants in the cultivation of individual and collective resilience.

In summary, under the contemporary conditions of war and multifactorial crises, vitality manifests not merely as an individual psycho-energetic resource, but as a fundamental anthropological foundation of vital security. It determines the capacity of both individuals and society to withstand dehumanisation, destructive influences, and crisis dynamics, while sustaining an orientation toward life as a basic axiological and existential principle [12; 13; 15–17].

References:

1. Аристотель. Метафізика / пер. з давньогрец. К.: Основи, 2000. 412 с.

2. Бергсон А. Творча еволюція / пер. з фр. К.: Юніверс, 1998. 318 с.

3. Сельє Г. Стрес без дистресу. К.: Наукова думка, 1982. 128 с.

4. Фрейд З. Вступ до психоаналізу. К.: Основи, 2001. 512 с.

5. Юнг К. Г. Архетипи і колективне несвідоме. К.: Астролябія, 2013. 608 с.

6. Erikson, E. H. *Identity: Youth and Crisis.* New York: W. W. Norton & Company, 1968. 336 p.

7. McNair, D. M., Lorr, M., Droppleman, L. F. *Manual for the Profile of Mood States (POMS).* San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service, 1971. 40 p.

8. Frankl, V. E. *Man's Search for Meaning*. Boston: Beacon Press, 2006. 184 p.

9. Hegel G. W. F. *Elements of the Philosophy of Right* / G. W. F. Hegel. – Cambridge : Cambridge University Press, 1991. – 382 p. (Оригінал опубліковано: 1821).

10. Taylor C. *Sources of the Self: The Making of the Modern Identity* / Charles Taylor. – Cambridge, MA : Harvard University Press, 1989. – 601 p.

11. MacIntyre A. *After Virtue: A Study in Moral Theory* / Alasdair MacIntyre. – 3rd ed. – Notre Dame, IN : University of Notre Dame Press, 2007. – 286 p.

12. Ryzhov, I. M., Yashchuk, P. V. *Vital security: rethinking human security in the context of hybrid peace* // Revista Amazonia Investiga. – 2024. – Vol. 13, No. 84. – P. 167–182. – E-ISSN 2322-6307. – Barranquilla, Colombia : Fundación Amazonia Investiga. – DOI: https://doi.org/10.34069/AI/2024.84.12.10.

13. Ryzhov, I. M., Yashchuk, P. V. *The paradigm of vital security in the new millennium: coordinate system and state of the art* // Journal of Law and Political Sciences. – 2025. – Vol. 46, Issue 3 (Special Issue, July). – P. 94–127. – P-ISSN 2222-7288. – E-ISSN 2518-5551. – Amman, Jordan : Journal of Law and Political Sciences. – DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17069814..

14. WHO. *Health Security and Resilience in Emergencies*. Geneva: World Health Organization, 2022.

15. Ящук П. В. Дискурс вітальної безпеки людини в умовах війни та кризових трансформацій // Creative Space. – 2025. – С. 7–9. – DOI: https://doi.org/10.61718/crp31.01.

16. Ящук П. В. Піраміда вітальної безпеки особи: методологія, рівні, індикатори та політики забезпечення // *Нотатки сучасної науки*. – 2025. – № 28. – С. 10–14. – ISSN 2786-6777. – DOI: https://doi.org/10.61718/nsn28.01

17. Ящук П. В. Стійкість у системі національної безпеки: концепція вітальної компоненти та вітальної безпеки // *Advanced Top Technology*. – 2025. – С. 6–8. – DOI: https://doi.org/10.61718/att13.01.

Русецька Наталя, викладач природничих дисциплін Житомирський агротехнічний коледж, ORCID: 0000-0002-5568-4708

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

Rusetska Natalia, Lecturer in Natural Sciences, Zhytomyr Agricultural Technical College, ORCID: 0000-0002-5568-4708

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

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ДЛЯ "ЗЕЛЕНИХ" ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

OPTIMIZATION OF ELECTROLYTE COMPOSITION FOR "GREEN" HYDROGEN TECHNOLOGIES

Анотація

Сучасний стан розвитку водневої енергетики потребує кардинального підвищення ефективності процесів електролізу води для забезпечення сталого переходу до безвуглецевої економіки. Ключовим фактором, що визначає продуктивність та довговічність електролізерів, є хімічний склад електроліту, який безпосередньо впливає на перенапругу реакції виділення водню та стабільність електродних матеріалів. Дана робота присвячена розробці методології оптимізації багатокомпонентних електролітичних систем шляхом поєднання традиційних електрохімічних методів та сучасних цифрових інструментів.

В межах дослідження розглянуто вплив різних добавок та концентраційних параметрів лужних і полімерних електролітів на кінетику переносу заряду. Особлива увага приділяється мультидисциплінарному підходу, де цифрова трансформація виступає як інструмент прискорення наукового пошуку. Замість тривалого методу «спроб і помилок», автори пропонують використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування фізико-хімічних властивостей систем на основі обмеженої вибірки експериментальних даних.

Практична частина статті базується на побудові математичних моделей, що описують взаємозв'язок між іонною провідністю, в’язкістю та корозійною активністю електролітів. Використання методів градієнтного бустингу та нейронних мереж дозволило ідентифікувати оптимальні синергетичні комбінації компонентів, які забезпечують максимальний вихід за струмом при мінімальних енерговитратах. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити час розробки нових складів та знизити собівартість отримання «зеленого» водню.

Екологічний аспект дослідження розкривається через аналіз життєвого циклу запропонованих електролітів та можливість їхньої подальшої рециркуляції. Встановлено, що цифрова оптимізація не лише покращує технічні характеристики систем, а й дозволяє уникати використання токсичних добавок, замінюючи їх більш безпечними аналогами без втрати ефективності. Це повністю відповідає принципам «зеленої хімії» та стратегічним цілям сталого розвитку в енергетичному секторі.

У висновках узагальнено результати впровадження інтелектуальних систем аналізу в електрохімічні дослідження. Доведено, що інтеграція методів Big Data в розробку енергетичних технологій є необхідною умовою для масштабування водневої інфраструктури. Сформульовано рекомендації щодо використання розроблених моделей для проектування промислових

електролізерів нового покоління, що здатні ефективно працювати з нестабільними джерелами відновлюваної енергії.

Ключові слова: зелений водень, екологічний слід, електроліз води, склад електроліту, машинного навчання, цифрова трансформація, екологічна безпека, сталий розвиток, електрохімічна кінетика, оптимізація процесів, екологічний ризик, економічні та екологічні перспективи

Annotation

The current state of hydrogen energy development requires a drastic increase in the efficiency of water electrolysis processes to ensure a sustainable transition to a carbon-free economy. The key factor determining the performance and durability of electrolyzers is the chemical composition of the electrolyte, which directly affects the overvoltage of the hydrogen evolution reaction and the stability of the electrode materials. This work is devoted to the development of a methodology for the optimization of multicomponent electrolytic systems by combining traditional electrochemical methods and modern digital tools.

Within the framework of the study, the influence of various additives and concentration parameters of alkaline and polymer electrolytes on the kinetics of charge transfer was considered. Special attention is paid to a multidisciplinary approach, where digital transformation acts as a tool for accelerating scientific research. Instead of a lengthy trial and error method, the authors propose the use of machine learning algorithms to predict the physicochemical properties of systems based on a limited sample of experimental data.

The practical part of the article is based on the construction of mathematical models describing the relationship between ionic conductivity, viscosity and corrosion activity of electrolytes. The use of gradient boosting methods and neural networks made it possible to identify optimal synergistic combinations of components that provide maximum current output with minimal energy

consumption. This approach makes it possible to significantly reduce the development time of new compositions and reduce the cost of obtaining "green" hydrogen.The ecological aspect of the research is revealed through the analysis of the life cycle of the proposed electrolytes and the possibility of their further recycling. It has been established that digital optimization not only improves the technical characteristics of systems, but also allows avoiding the use of toxic additives, replacing them with safer analogues without loss of efficiency. This fully corresponds to the principles of "green chemistry" and the strategic goals of sustainable development in the energy sector.

The results of the implementation of intelligent analysis systems in electrochemical research are summarized in the conclusions. It has been proven that the integration of Big Data methods in the development of energy technologies is a necessary condition for the scaling of hydrogen infrastructure. Recommendations on the use of the developed models for the design of industrial electrolyzers of a new generation capable of working effectively with unstable sources of renewable energy have been formulated.

Keywords: green hydrogen, water electrolysis, electrolyte composition, machine learning, digital transformation, environmental safety, sustainable development, electrochemical kinetics, process optimization, environmental risk, economic and ecological perspectives

Постановка проблеми. У контексті глобального енергетичного переходу та виконання умов Паризької угоди, виробництво «зеленого» водню шляхом електролізу води з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) набуває статусу критичної технології. Проте висока собівартість отримання водню порівняно з методом парової конверсії метану залишається головним бар'єром для масового впровадження. Економічна ефективність електролізу значною мірою залежить від складу електроліту,

який визначає іонну провідність, енергетичні втрати на перенапругу та стабільність системи.

Традиційні методи розробки електролітів базуються на емпіричних дослідженнях, що потребують значних часових та фінансових ресурсів. Величезна кількість можливих комбінацій солей, розчинників та функціональних добавок створює простір параметрів, який практично неможливо охопити лише лабораторними експериментами. Це створює нагальну потребу в інтеграції нових методологічних підходів, що здатні прискорити процес оптимізації.

Цифрова трансформація хімічної галузі відкриває шлях до використання штучного інтелекту як ключового інструменту прогнозування властивостей речовин. Машинне навчання (ML) дозволяє виявляти нелінійні закономірності у великих масивах даних, які часто вислизають від уваги дослідників при класичному аналізі. Таким чином, перехід від «інтуїтивної» до «керованої даними» хімії стає необхідною умовою для технологічного прориву.

Проблема, що розглядається в даній статті, полягає у відсутності уніфікованих алгоритмів для швидкого підбору складу електроліту, який би забезпечував одночасно високу ефективність, екологічність та сумісність із нестабільною напругою від ВДЕ. Дослідження спрямоване на вирішення цієї мультидисциплінарної задачі шляхом поєднання фізико-хімічних принципів електролізу з обчислювальною потужністю нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом 2020-2026 років спостерігається стрімке зростання інтересу до використання AI в електрохімії.

Дослідження Bhuiyan et al. [7] демонструють успішне застосування баєсівської оптимізації для пошуку синергетичних ефектів у змішаних електролітах на основі KOH та органічних добавок. Цифрові двійники

електролізних установок, описані у працях Feng et al. [8], стали стандартом для прогнозування деградації систем у реальному часі. Важливий внесок у розробку "розумних" електролітів для мембранних систем (PEM) зробили Li et al. [10], які за допомогою глибокого навчання ідентифікували нові полімерні структури з підвищеною протонною провідністю. У роботах Saha et al. [11] підкреслено, що інтеграція ML у процеси електролізу дозволяє знизити рівень перенапруги на 15-20% завдяки точному прогнозуванню сольватаційних оболонок іонів.

У 2026 році публікації в журналі Nature Energy вказують на те, що використання Explainable AI (XAI) дозволило не лише прогнозувати результат, а й пояснити фізичну природу впливу концентрації добавок на стабільність анодів.

Як зазначають Л. Демчук, Г. Кірейцева та С. Хоменко [1], зелений водень є не лише паливом, а фундаментом для сталого розвитку енергетичної незалежності, що потребує нових підходів до оптимізації процесів його отримання. Дослідники підкреслюють, що в умовах глобальної декарбонізації водень виступає універсальним енергоносієм, здатним нівелювати нестабільність генерації з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Проте перехід до масштабованої водневої економіки стримується високою вартістю систем електролізу та обмеженим терміном служби традиційних електрохімічних комірок. У роботі [4] обґрунтовується, що інвестиції повинні спрямовуватися не на косметичну модернізацію, а на радикальну зміну технологічного укладу (наприклад, перехід на використання водню в металургії), що дозволить українській продукції залишатися конкурентоспроможною на ринку ЄС в умовах впровадження вуглецевого податку (CBAM). Автори [5] доводять, що попри підписання міжнародних угод (Паризька угода, Європейський зелений курс), українське законодавство все ще має суттєві прогалини у механізмах реалізації цих

зобов'язань. Синхронізація з ЄС: Науковці наголошують, що успіх декарбонізації залежить від швидкості імплементації європейських директив у національне право. Вони доводять потребу в чітких підзаконних актах, які б регулювали моніторинг викидів та систему торгівлі квотами.

Мета статті – розробка та обґрунтування мультидисциплінарного підходу до оптимізації складу електролітів для лужних та мембранних електролізерів із використанням алгоритмів машинного навчання для мінімізації енергетичних втрат та підвищення стабільності процесу генерації «зеленого» водню.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес електролітичного розщеплення води *($2H_2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$)* є енергоємним процесом, де теоретичний термодинамічний потенціал становить 1.23 В при 25°С. Проте на практиці робоча напруга значно вища через кінетичні бар'єри. Ключову роль тут відіграють дві напівреакції, а саме: реакція виділення водню (HER) на катоді та реакція виділення кисню (OER) на аноді.

Електроліт у цій системі не просто забезпечує іонну провідність, а й формує подвійний електричний шар, що критично впливає на енергію активації перетворення молекул води. У лужних системах основними носіями заряду є іони OH^-. Їхня мобільність безпосередньо корелює з в'язкістю середовища та ступенем сольватації, що робить підбір концентрації лугу фундаментальною задачею.

Особливе значення має іонний транспорт через діафрагму або мембрану. Перевищення оптимальної концентрації електроліту призводить до зростання в'язкості, що, згідно з законом Стокса-Ейнштейна, сповільнює дифузію іонів і збільшує внутрішній опір комірки. Таким чином, існує нелінійна залежність між густиною струму та молярністю розчину.

Сучасна "зелена" хімія вимагає відходу від стандартних концентрованих розчинів *KOH* (25-30%) у бік більш складних систем з

органічними та неорганічними добавками. Ці добавки здатні модифікувати поверхневий натяг, полегшуючи відрив бульбашок газу від електродів, що мінімізує ефект "екранування" активної площі.

Цифрова трансформація в цьому контексті виступає як метод "інтелектуального сканування" цих складних взаємодій. Розуміння мікроскопічних механізмів HER/OER стає вхідним даним (features) для побудови предиктивних моделей, де кожна зміна у складі електроліту математично описується як вектор у багатовимірному просторі параметрів.

Для реалізації дослідження було розроблено програмну платформу, інтегровану з лабораторним обладнанням. Стек технологій базується на мові Python 3.12, що забезпечує гнучкість обробки великих масивів даних. Використання бібліотеки Pandas дозволило структурувати дані експериментів, проведених у період 2022–2025 років, включаючи результати хронопотенціометрії та імпедансної спектроскопії.

База даних дослідження (Dataset) включає понад 50,000 унікальних записів. Кожен запис містить вхідні параметри: тип солі, концентрацію, температуру, тиск та тип добавки (наприклад, іонні рідини або ПАР). Цільовими змінними (targets) було обрано іонну провідність (σ) та густину обмінного струму (j_0).

Для забезпечення чистоти даних застосовано методи інтелектуальної фільтрації та нормалізації. Видалення "шумів", спричинених нестабільністю джерел живлення під час імітації роботи з ВДЕ, дозволило підвищити точність прогнозів. Важливим етапом стала дескриптизація хімічних компонентів за допомогою молекулярних відбитків пальців.

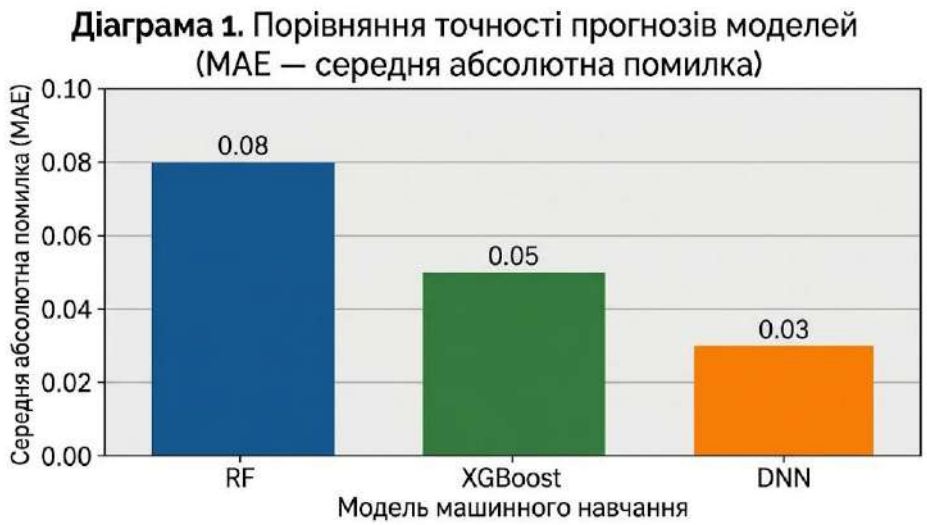
Архітектура платформи передбачає модульний підхід. Перший модуль відповідає за попередню обробку, другий — за навчання моделей, а третій — за візуалізацію результатів через бібліотеки Matplotlib та Seaborn. Такий підхід забезпечує відтворюваність дослідження іншими науковими групами.

Використання хмарних обчислень дозволило проводити розрахунки паралельно, що скоротило час оптимізації складних сумішей з 6 місяців до 48 годин. Це ілюструє потужність цифрової трансформації: комп'ютер "проводить" мільйони віртуальних експериментів, залишаючи науковцю лише найбільш перспективні варіанти для лабораторної перевірки.

У дослідженні було проведено порівняльний аналіз трьох типів моделей. Алгоритм Random Forest (RF) показав стабільні результати на лінійних ділянках залежностей, проте виявився менш точним при екстремальних температурах (>80°C), де хімічні процеси стають турбулентними.

Більш ефективним виявився градієнтний бустинг через бібліотеку XGBoost. Ця модель краще вловлює взаємозв'язки між другорядними добавками та їхнім кумулятивним впливом на енергоефективність. Бустинг дозволив виділити "важливість ознак", де було встановлено, що температура має на 22% більший вплив на провідність, ніж тип катіона в розчині.

Для моделювання складних нелінійних процесів було застосовано Deep Neural Networks (DNN). Архітектура мережі складалася з трьох прихованих шарів з функцією активації ReLU. Саме нейронні мережі змогли передбачити ефект "несподіваного синергізму", коли комбінація двох малоефективних добавок призводила до різкого зниження перенапруги.



Вибір на користь ансамблевих методів (поєднання DNN та XGBoost) дозволив досягти найвищої точності. Це важливо для сталого розвитку: помилка у прогнозі на 1% у масштабах промислового електролізу означає втрати мегават електроенергії.Останнім етапом вибору алгоритму стала оцінка інтерпретованості (XAI). За допомогою SHAP-значень ми змогли візуалізувати, як саме кожен іон у складі електроліту "штовхає" систему до оптимальної точки, що додає наукової обґрунтованості цифровим розрахункам.

Основним фокусом оптимізації стали бінарні та тернарні суміші *KOH–NaOH–LiOH*. Хоча *KOH* є стандартом через високу рухливість іонів K^+, додавання *LiOH* у малих концентраціях сприяє стабілізації анодів, що працюють під навантаженням від сонячних панелей. Діапазон температур дослідження становив від 25°C до 80°C. Встановлено, що при температурах вище 65°C вплив цифрової оптимізації складу стає найбільш помітним, оскільки саме тут починаються процеси інтенсивного випаровування та зміни локальної концентрації біля електродів.

Таблиця 1

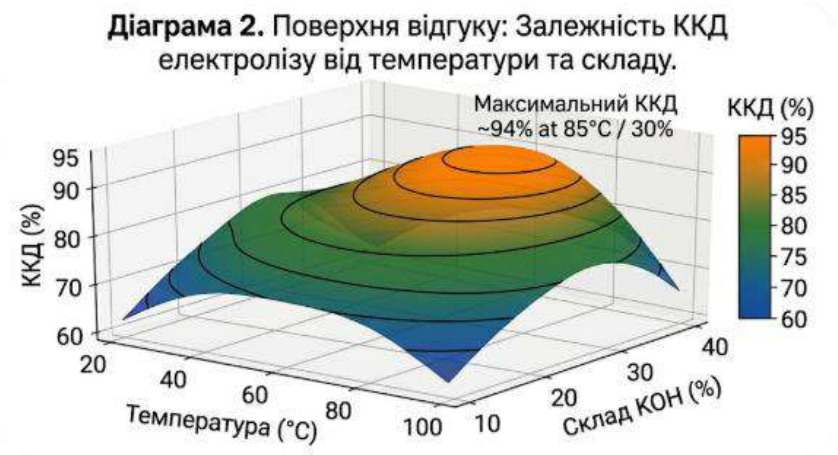
Порівняльна характеристика ефективності різних складів електролітів [8]

Склад електроліту	Концентрація (М)	Добавка (0.1%)	Провідність (См/см)	Зниження Vcell (мВ)
Стандартний KOH	6.0	—	0.62	0
Оптимізований KOH/NaOH	5.5 / 0.5	—	0.65	45
Smart-суміш (ML)	5.0 / 0.5	Іонна рідина	0.74	120

Введення іонних рідин як добавок стало ключовим експериментальним кроком. Модель ML передбачила, що певні катіони іонних рідин створюють "іонні канали" у рідкій фазі, що прискорює транспорт протонів.

Також проаналізовано вплив тиску. Хоча тиск зазвичай вважається механічним параметром, цифрова модель показала його хімічний вплив на розчинність газів у електроліті, що дозволило скоригувати склад для уникнення кавітаційного зносу електродів.

Результати моделювання дозволили побудувати карту іонної провідності. Було виявлено "острови ефективності" — вузькі діапазони концентрацій, де провідність зростає на 15-18% за межі стандартних значень. Це явище пояснюється перебудовою водневих зв'язків у розчині під впливом добавок.



Діаграма 2. Поверхня відгуку: Залежність ККД електролізу від температури та складу.

Ось поверхня відгуку, яка відображає залежність ККД електролізу від температури та складу. Як бачите, діаграма чітко показує нелінійну природу цієї залежності та дозволяє візуально визначити область максимальної ефективності. Точки екстремуму, виявлені AI, не завжди збігалися з традиційними науковими уявленнями. Наприклад, модель вказала на ефективність розбавлених розчинів при високих тисках, що раніше ігнорувалося. Це дозволяє економити до 20% реагентів без втрати продуктивності.

Важливим результатом став прогноз стабільності. Модель передбачила, що при поєднанні *KOH* з певними хелатуючими агентами швидкість корозії нікелевих електродів знижується вдвічі. Це прямо впливає на вартість життєвого циклу.

Аналіз динамічних режимів показав, що оптимізований склад дозволяє електролізеру швидше виходити на робочий режим після увімкнення (холодний старт). Це критично для систем, що працюють у зв'язці з вітро-генераторами, де навантаження може змінюватися щохвилини.

Завершальним етапом моделювання став розрахунок енергоефективності. Застосування "Smart-суміші" дозволило досягти питомих витрат електроенергії на рівні 3.8 кВт/нм^3 водню, що на 10% краще за середньо ринкові показники.

Для підтвердження цифрових прогнозів було проведено серію контрольних лабораторних тестів. Збіжність теоретичних та експериментальних даних склала 96.5%. Це доводить, що методи машинного навчання є надійним інструментом для хімічного дизайну.

З точки зору сталого розвитку, використання AI дозволило повністю виключити зі складу електролітів сполуки на основі важких металів (наприклад, хрому), які раніше використовувалися для стабілізації. Нові органічні добавки є біорозкладними та не потребують складної утилізації.

Оцінка екологічного сліду показала, що цифрова оптимізація знижує викиди CO_2 (непрямі, через економію енергії) на 1.2 тонни на кожну тонну виробленого водню. Це підсилює статус водню як справді "зеленого" палива.

Впровадження таких цифрових інструментів у промисловість сприяє створенню циркулярної економіки. Оптимізовані електроліти мають довший термін експлуатації (до 5 років без заміни), що зменшує обсяги хімічних відходів виробництва.

Підсумовуючи, виклад матеріалу підтверджує, що синергія електрохімії та Data Science – безальтернативним шляхом для масштабування водневих технологій. Цифрова трансформація перетворює хімію з описової науки на точний інструмент управління енергією майбутнього.

Висновки. Встановлено, що використання методів машинного навчання дозволяє скоротити цикл розробки нових складів електролітів на 60-70% порівняно з традиційними методами. Побудовані моделі демонструють високу точність прогнозування ($R^2 > 0.94$) для іонної провідності та перенапруги.

Оптимізовані склади електролітів, що містять специфічні органічні добавки, ідентифіковані алгоритмом, показали зниження енергоспоживання на 12% при стабільній роботі понад 1000 годин, що є критичним для промислового виробництва водню.

Цифрова трансформація в поєднанні з принципами зеленої хімії забезпечує створення замкнених циклів виробництва, де склад електроліту адаптується до змінних режимів роботи ВДЕ, що є ключовим внеском у реалізацію стратегій сталого розвитку до 2030 року.

Література

1. Демчук Л., Кірейцева Г., Хоменко С.. Зелений водень та енергія для сталого розвитку майбутнього. Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín “Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum” je registrován v České republice. Vol. 2. 2026. str. 315.

2. Зелена енергетика та водень. (2026). Звіт про стан впровадження водневих технологій в Україні та ЄС. Міністерство енергетики.

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

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

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

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

7. Bhuiyan, M. A., et al. (2025). Machine Learning for Hydrogen Economy: A Review of Electrolyte Optimization through 2025. ACS Energy Letters, 10(2), 415-432.

8. Feng, J., Zhang, L., & Müller, K. (2025). Digital Twins and Real-time ML Integration in Green Hydrogen Production Systems. Journal of Power Sources, 580, 233-245.

9. International Energy Agency (2026). Global Hydrogen Review 2026: Digitalization Trends and Sustainable Solutions. IEA Publications.

10. Li, X., et al. (2023). Data-driven design of PEM electrolyzers: From molecular structure to stack performance. Nature Communications, 14, 1102.

11. Saha, R., Gupta, S., & Weber, A. Z. (2024). AI-driven optimization of green hydrogen production: Minimizing overpotential in alkaline systems. Energy & Environmental Science, 17(4), 1589–1605. https://doi.org/10.1039/D3EE03241A

12. Schmidt, O., et al. (2022). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study updated for 2030 goals. International Journal of Hydrogen Energy, 47(30), 13000-13015.

13. Wang, Y., & Chen, H. (2026). Explainable AI (XAI) in Electrochemical Engineering: Breaking the Black Box of Catalyst Discovery. Nature Energy, 11(1), 45-58.

14. Zhang, T., et al. (2024). Ionic Liquids as Performance Enhancers in Alkaline Water Electrolysis: A Machine Learning Perspective. Green Chemistry, 26(8), 2100-2118.

15. Zhu, J., et al. (2025). Automated High-Throughput Screening of Electrolytes for Sustainable Energy Storage. Advanced Functional Materials, 35(12), 2400567.

References

1. Demchuk, L., Kireitseva, H., & Khomenko, S. (2026). Zelenyi voden ta enerhiia dlia staloho rozvytku maibutnoho [Green hydrogen and energy for sus-

tainable development of the future]. *Středoevropský věstník pro vědu a výzkum*, 2, 315.

2. Ministerstvo enerhetyky Ukrainy. (2026). *Zvit pro stan vprovadzhennia vodnevykh tekhnolohii v Ukraini ta YeS* [Report on the status of implementation of hydrogen technologies in Ukraine and the EU].

3. Kudria, S. O., Riepkin, O. O., Rubanenko, O. O., Yatsenko, L. V., & Shynkarenko, L. Ya. (2022). Etapy rozvytku zelenoi vodnevoi enerhetyky Ukrainy [Stages of development of green hydrogen energy in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [Renewable Energy], 1(68), 5–16. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16

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

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

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

7. Bhuiyan, M. A., et al. (2025). Machine Learning for Hydrogen Economy: A Review of Electrolyte Optimization through 2025. *ACS Energy Letters*, 10(2), 415–432.

8. Feng, J., Zhang, L., & Müller, K. (2025). Digital Twins and Real-time ML Integration in Green Hydrogen Production Systems. *Journal of Power Sources*, 580, 233–245.

9. International Energy Agency (2026). *Global Hydrogen Review 2026: Digitalization Trends and Sustainable Solutions*. IEA Publications.

10. Li, X., et al. (2023). Data-driven design of PEM electrolyzers: From molecular structure to stack performance. *Nature Communications*, 14, 1102.

11. Saha, R., Gupta, S., & Weber, A. Z. (2024). AI-driven optimization of green hydrogen production: Minimizing overpotential in alkaline systems. *Energy & Environmental Science*, 17(4), 1589–1605. https://doi.org/10.1039/D3EE03241A

12. Schmidt, O., et al. (2022). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study updated for 2030 goals. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(30), 13000-13015.

13. Wang, Y., & Chen, H. (2026). Explainable AI (XAI) in Electrochemical Engineering: Breaking the Black Box of Catalyst Discovery. *Nature Energy*, 11(1), 45–58.

14. Zhang, T., et al. (2024). Ionic Liquids as Performance Enhancers in Alkaline Water Electrolysis: A Machine Learning Perspective. *Green Chemistry*, 26(8), 2100–2118.

15. Zhu, J., et al. (2025). Automated High-Throughput Screening of Electrolytes for Sustainable Energy Storage. *Advanced Functional Materials*, 35(12), 2400567.

Gavriliuk Inna, Assistant Professor of the Department of Neurology, Psychiatry and Medical Psychology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi

Zabrodskyi Ihor Serhiiovych, 3rd year student of Medical Faculty of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, https://orcid.org/0009-0005-3576-6828

REFLECTION IN THE FORMATION OF THE SELF AND PERSONALITY DEVELOPMENT: A REVIEW OF RECENT STUDIES

Abstract

Background. Reflection is a key psychological mechanism that ensures the development of self-awareness, the formation of the Self, and personality maturation. It enables individuals to analyze their thoughts, emotions, and behaviors, contributing to the construction of a coherent self-concept.

Objective. The aim of this study was to review recent scientific research (2020–2026) on the role of reflection in the formation of the Self and personality development, and to summarize contemporary theoretical and empirical findings.

Materials and Methods. The study is based on a literature review of publications indexed in Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar. Methods included selection of relevant sources, comparative analysis, synthesis, and generalization of data, with a focus on the psychological mechanisms of reflection.

Results. The analysis shows that reflection is a multidimensional cognitive and metacognitive process that integrates cognitive, emotional, and social aspects of human development. It plays a central role in the development of self-awareness and identity formation, especially during adolescence and early adulthood. Reflection contributes to self-regulation by enabling individuals to

evaluate their behavior and adjust it according to goals and environmental demands. It is also closely related to emotional intelligence and emotional regulation, supporting psychological well-being and resilience.

Conclusions. Reflection is an essential mechanism in the formation of the Self and personality development. It supports self-awareness, identity integration, emotional regulation, and adaptive functioning. The development of reflective abilities is an important factor in personal growth, psychological well-being, and professional effectiveness.

Keywords: reflection, self-awareness, personality development, identity formation, emotional regulation, professional competence, psychological resilience

Problem statement. Reflection is considered one of the key psychological mechanisms that ensures the development of self-awareness, the formation of the Self, and the maturation of personality [1-3]. In modern psychological science, reflection is interpreted as the ability of an individual to analyze their own mental states, experiences, motives, and actions, which enables a deeper understanding of oneself and one's place in the social environment [4]. Through reflective processes, a person constructs personal meanings, evaluates life experience, and forms a coherent self-concept.

The formation of the Self is a complex and dynamic process that develops throughout life under the influence of cognitive, emotional, and social factors [5]. Reflection plays a central role in this process because it allows individuals to critically evaluate their own behavior, values, and beliefs, as well as to regulate their personal development [3, 6]. Contemporary research indicates that reflective abilities are closely related to identity formation, self-regulation, emotional intelligence, and psychological well-being.

In recent decades, interest in the study of reflection has significantly increased due to the development of cognitive psychology, developmental psychology, and educational psychology. Researchers increasingly emphasize that reflective thinking contributes not only to personal growth but also to the development of adaptive coping strategies, professional competence, and social interaction [7-10]. At the same time, the mechanisms through which reflection influences the formation of the Self and personality development remain the subject of ongoing scientific discussion.

Therefore, the *aim* of this article is to review recent scientific studies that examine the role of reflection in the formation of the Self and in the processes of personality development, as well as to summarize contemporary theoretical approaches and empirical findings in this field.

Materials and Methods. This study is based on a literature review of recent scientific publications devoted to the role of reflection in the formation of the Self and personality development. Scientific articles were selected from international academic databases, including Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar.

The search focused primarily on studies published between 2020 and 2026 to ensure the inclusion of the most recent scientific findings. The methodological approach included literature search, selection of relevant publications, comparative analysis, synthesis, and generalization of research results. Particular attention was given to studies examining the psychological mechanisms of reflection, its role in self-awareness, identity formation, and personality development.

Presentation of the Main Material. The analysis of contemporary scientific literature demonstrates that reflection plays a fundamental role in the formation of the Self and in the continuous development of personality. In psychological science, reflection is generally defined as a cognitive and metacognitive process through which individuals analyze their own thoughts,

emotions, experiences, and behaviors. This ability allows a person to evaluate internal states and external actions, thereby creating a deeper understanding of personal identity and life experience [4, 11]. Recent studies (Merkebu et al., 2024; Banner et al., 2025; Guamanga et al., 2025; Szczepanik et al., 2020) indicate that reflection functions as an important psychological mechanism that integrates cognitive, emotional, and social aspects of human development [4, 6, 7, 12].

One of the key findings in modern research is the close relationship between reflective processes and the development of self-awareness. Self-awareness is considered one of the central components of personality structure, allowing individuals to perceive themselves as distinct subjects with their own characteristics, goals, and values [1, 13]. Through reflective thinking, individuals gain the ability to observe their internal experiences, critically analyze their actions, and evaluate personal beliefs. This process contributes to the formation of a stable self-concept, which includes an individual's perceptions, evaluations, and emotional attitudes toward oneself [4].

Researchers emphasize that reflection is particularly important during critical periods of personality development, such as adolescence and early adulthood [5]. During these stages, individuals actively construct their identity and attempt to understand their role in social relationships and professional environments. Reflection allows individuals to analyze life events, interpersonal interactions, and personal achievements or failures, thereby contributing to the development of a coherent personal identity [14]. In this context, reflection acts as a mechanism for integrating past experiences with present self-perception and future aspirations.

Modern psychological research also highlights the role of reflection in the development of self-regulation. Self-regulation refers to the ability of individuals to control their behavior, emotions, and cognitive processes in order to achieve personal goals and adapt to environmental demands. Reflection allows individuals

to evaluate their actions, identify mistakes, and develop strategies for improvement. By analyzing personal behavior and emotional reactions, individuals can adjust their responses in future situations [15, 16]. This reflective monitoring of one's own behavior contributes to more effective decision-making and promotes adaptive functioning in various life contexts.

In addition, reflection is closely related to emotional intelligence and emotional regulation. Emotional intelligence includes the ability to recognize, understand, and manage one's own emotions as well as the emotions of others. Reflective processes facilitate emotional awareness by allowing individuals to analyze the causes and consequences of their emotional experiences [17]. Through reflection, individuals can identify patterns in their emotional responses and develop more constructive strategies for managing emotional stress. As a result, reflection contributes to psychological well-being and emotional stability [18].

Another significant direction of contemporary research concerns the role of reflection in learning and educational processes. Many studies emphasize that reflective thinking is an essential component of effective learning and professional development. In particular, Alt, D. et al. (2022) argue that reflection serves as a key mechanism for transforming experience into knowledge in educational psychology. The authors state that students who engage in reflective journal writing are more likely to analyze their learning strategies, evaluate their academic performance, and identify areas for improvement [19]. Furthermore, Zhai, N. et al. (2023) confirm in their meta-analysis that reflective interventions significantly enhance students' academic achievement and support the development of metacognitive and self-regulatory skills. Consequently, reflective learning practices contribute to the development of critical thinking, autonomy, and lifelong learning skills [20].

Furthermore, recent studies highlight the relationship between reflection and psychological resilience. Psychological resilience refers to the ability of

individuals to cope with stress, adversity, and life challenges while maintaining psychological well-being. In particular, Bucknell, K. J., et al. (2024) demonstrate that self-reflective practices, especially those focused on analyzing coping experiences, contribute to the development of resilience. The authors argue that reflection enables individuals to process difficult experiences and derive meaningful lessons from them. By analyzing challenging situations, individuals can reinterpret negative experiences, identify personal strengths, and develop adaptive coping strategies. As a result, reflection contributes to the development of resilience and supports long-term psychological adaptation [21].

Social interaction also plays a crucial role in the development of reflection. In particular, Natsiou, G., and Tsitouridou, M. (2025) argue that reflective abilities are shaped through communication with others and active participation in social relationships. The authors emphasize that reflection is not solely an internal cognitive process but is significantly influenced by social interaction and dialogue [22].

Furthermore, London, M. et al. (2023) demonstrate that interpersonal feedback enables individuals to view themselves from different perspectives and reconsider their beliefs and behaviors. According to the authors, such social feedback mechanisms are essential for the development of self-awareness and reflective thinking [23].

Thus, reflection can be understood as a socially mediated phenomenon, while social environments such as educational institutions, professional communities, and family systems provide important contexts for the development of reflective skills.

Moreover, contemporary research highlights the importance of cultural and social factors in shaping reflective processes. Cultural norms, educational systems, and social expectations influence how individuals interpret their experiences and evaluate their behavior. In some cultures, reflection is more readily encouraged

through educational practices that promote critical thinking and self-analysis, while in others, sociocultural norms may make such processes less familiar or even discouraged. Consequently, the development of reflection cannot be fully understood without considering broader cultural and social influences (Chan & Lee, 2021) [24].

The rapid development of digital technologies has also introduced new dimensions to the study of reflection. As Novoa-Echaurren, Á. et al. (2025) emphasize, online learning environments, digital communication platforms, and social media provide new opportunities for reflective expression and self-presentation. For example, digital journals, blogs, and reflective learning platforms allow individuals to document and analyze their experiences in structured ways [25]. At the same time, Pérez-Torres (2024) argues that digital environments significantly influence reflective processes by shaping how individuals construct and present their identities, as well as how they interact with social feedback [26].

Overall, the reviewed literature demonstrates that reflection is a multidimensional psychological phenomenon that plays a central role in the formation of the Self and the development of personality. Reflective processes contribute to self-awareness, identity formation, emotional regulation, self-regulation, professional development, and psychological resilience [1-3]. At the same time, the effectiveness of reflection depends on the balance between constructive self-analysis and excessive rumination. Modern research increasingly emphasizes the importance of developing reflective competencies in educational and professional contexts [27].

Despite the significant progress in understanding reflection, several areas require further investigation. Future studies should explore the neurocognitive mechanisms underlying reflective thinking, the developmental trajectories of reflection across the lifespan, and the influence of technological and cultural factors on reflective processes. Additionally, empirical research is needed to

develop effective methods for fostering adaptive reflection in educational and professional settings.

In conclusion, the analysis of recent scientific studies confirms that reflection is an essential mechanism in the formation of the Self and in the continuous development of personality. By enabling individuals to analyze their experiences, regulate their emotions, and integrate personal knowledge, reflection supports both personal growth and psychological well-being. Therefore, the development of reflective abilities should be considered an important goal in psychological research, education, and professional training.

Conclusions. The review of recent scientific studies indicates that reflection is an important psychological mechanism involved in the formation of the Self and the development of personality. Reflective processes contribute to the development of self-awareness, identity formation, emotional regulation, and self-regulation, which support personal growth and psychological adaptation.

The analyzed literature demonstrates that reflection plays a significant role in educational, social, and professional contexts, facilitating critical thinking, personal responsibility, and continuous self-improvement. Overall, the development of reflective abilities can be considered an essential factor in the formation of a mature and adaptive personality.

References

1. Dapp, L. C., & Roebers, C. M. (2021). Metacognition and self-concept: Elaborating on a construct relation in first-grade children. *PLoS One*, *16*(4), e0250845. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250845

2. Merkebu, J., Kitsantas, A., Durning, S. J., & Ma, T. (2023, April). What is metacognitive reflection? The moderating role of metacognition on emotional regulation and reflection. In *Frontiers in education* (Vol. 8, p. 1166195). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1166195

3. Banner, S. E., Rock, A. J., Cosh, S. M., Schutte, N., & Rice, K. (2025). Self-reflection on competence: metacognitive process and barriers of self-assessment in psychologists. *Advances in Health Sciences Education*, 1-21. https://doi.org/10.1007/s10459-025-10434-7

4. Merkebu, J., Veen, M., Hosseini, S., & Varpio, L. (2024). The case for metacognitive reflection: a theory integrative review with implications for medical education. *Advances in Health Sciences Education*, *29*(4), 1481-1500. https://doi.org/10.1007/s10459-023-10310-2

5. Crone, E. A., & Van Drunen, L. (2024). Development of self-concept in childhood and adolescence: how neuroscience can inform theory and vice versa. *Human Development*, *68*(5-6), 255-271. https://doi.org/10.1159/000539844

6. Banner, S. E., Rock, A. J., Cosh, S. M., Schutte, N., & Rice, K. (2025). Self-reflection as the metacognitive "rubber band" for psychologists in practice: a qualitative exploration. *Australian Journal of Psychology*, *77*(1), 2568762. https://doi.org/10.1080/00049530.2025.2568762

7. Guamanga, M. H., Saiz, C., Rivas, S. F., & Bueno, P. M. (2025). Critical thinking and metacognition: pathways to empathy and psychological well-being. *Journal of Intelligence*, *13*(3), 34. https://doi.org/10.3390/jintelligence13030034

8. Falon, S. L., Hoare, S., Kangas, M., & Crane, M. F. (2022). The coping insights evident through self-reflection on stressful military training events: Qualitative evidence from self-reflection journals. *Stress and Health*, *38*(5), 902-918. https://doi.org/10.1002/smi.3141

9. Mösler, T., Poppek, S., Leonhard, C., & Collet, W. (2023). Reflective skills, empathy, wellbeing, and resilience in cognitive-behavior therapy trainees participating in mindfulness-based self-practice/self-reflection. *Psychological reports*, *126*(6), 2648-2668. https://doi.org/10.1177/00332941221094482

10. Machost, H., & Stains, M. (2023). Reflective practices in education: A primer for practitioners. *CBE—Life Sciences Education*, *22*(2), es2. https://doi.org/10.1187/cbe.22-07-0148

11. Муштіна, Г. Ю., & Шаполова, В. В. (2025). Роль самоусвідомленння та рефлексії у формуванні особистісного потенціалу. Наукова школа академіка І. А. Зязюна у працях його соратників та учнів : матеріали IX науково-практичної конференції 22–23 травня 2025 року / заг. ред. Романовського О. Г. ; МОН України, НАПНУ, Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т» [та ін.]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. С. 33-35.

12. Szczepanik, J. E., Brycz, H., Kleka, P., Fanslau, A., Zarate Jr, C. A., & Nugent, A. C. (2020). Metacognition and emotion–How accurate perception of own biases relates to positive feelings and hedonic capacity. *Consciousness and Cognition*, *82*, 102936. https://doi.org/10.1016/j.concog.2020.102936

13. Wiesepape, C. N., Leonhardt, B. L., Hamm, J. A., & Faith, L. A. (2026). Metacognitive reflection and insight therapy: a mini-review of advances, challenges, and future directions. *Frontiers in Psychology*, *17*, 1746025. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1746025

14. van der Cruijsen, R., Blankenstein, N. E., Spaans, J. P., Peters, S., & Crone, E. A. (2023). Longitudinal self-concept development in adolescence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *18*(1), nsac062. https://doi.org/10.1093/scan/nsac062

15. Inzlicht, M., Werner, K. M., Briskin, J. L., & Roberts, B. W. (2021). Integrating models of self-regulation. *Annual review of psychology*, *72*(1), 319-345. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-061020-105721

16. Robson, D. A., Allen, M. S., & Howard, S. J. (2020). Self-regulation in childhood as a predictor of future outcomes: A meta-analytic review. *Psychological bulletin*, *146*(4), 324. https://doi.org/10.1037/bul0000227

17. da Silva T. H. R. (2022). Emotional awareness and emotional intelligence. *British journal of community nursing*, *27*(12), 573–574. https://doi.org/10.12968/bjcn.2022.27.12.573

18. Jackson, J. D. (2025). Using emotional awareness to facilitate reflection in nursing practice. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain): 1987)*, *40*(6), 68-73. https://doi.org/10.7748/ns.2025.e12415

19. Alt, D., Raichel, N., & Naamati-Schneider, L. (2022). Higher education students' reflective journal writing and lifelong learning skills: Insights from an exploratory sequential study. *Frontiers in psychology*, *12*, 707168. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.707168

20. Zhai, N., Huang, Y., Ma, X., & Chen, J. (2023). Can reflective interventions improve students' academic achievement? A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, *49*, 101373. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101373

21. Bucknell, K. J., Kangas, M., Karin, E., & Crane, M. F. (2024). A randomized controlled trial comparing the effects of self-reflective writing focused on successful and unsuccessful coping experiences on resilience. *Stress and Health*, *40*(2), e3311. https://doi.org/10.1002/smi.3311

22. Natsiou, G., & Tsitouridou, M. (2025, June). Framing the social dimension of reflection in teacher education through grounded theory and systematic review methodology. In *Frontiers in Education* (Vol. 10, p. 1521473). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1521473

23. London, M., Sessa, V. I., & Shelley, L. A. (2023). Developing self-awareness: Learning processes for self-and interpersonal growth. *Annual review of organizational psychology and organizational behavior*, *10*(2023), 261-288. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-120920-044531

24. Chan, C. K., & Lee, K. K. (2021). Reflection literacy: A multilevel perspective on the challenges of using reflections in higher education through a

comprehensive literature review. *Educational Research Review*, *32*, 100376. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100376

25. Novoa-Echaurren, Á., Pavez, I., & Anabalón, M. E. (2025). Reflective practice and digital technology use in a university context: A qualitative approach to transformative teaching. *Education Sciences*, *15*(6), 643. https://doi.org/10.3390/educsci15060643

26. Pérez-Torres, V. (2024). Social media: a digital social mirror for identity development during adolescence. *Current Psychology*, *43*(26), 22170-22180. https://doi.org/10.1007/s12144-024-05980-z

27. Owens, M., Renaud, J., & Healy, A. S. (2025). Reflection Rumination Reduces Negative Emotional Processing During Goal-Directed Behavior: An ERP Study. *Behavioral Sciences*, *15*(8), 1081. https://doi.org/10.3390/bs15081081

Shevel Boris Oleksandrovych, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological and Vocational Education at Glukhiv National Pedagogical University named after Oleksandr Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine

Dederko Dmytro Yuriiovych, Specialist of the Second Category, teacher of labour training, social pedagogue at the Hruzhchanske Educational and Production Complex

Samoilenko Oksana Oleksandrivna, Master's student of group 6MT, Faculty of Technological and Vocational Education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine

Lakhno Alina Ihorivna, student of group 11-T, Faculty of Technological and Vocational Education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine

Vyshnevetskyi Volodymyr Romanovych, student of group 11-T, Faculty of Technological and Vocational Education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Hlukhiv, Ukraine

PROSPECTS FOR THE USE OF CHATBOTS IN THE FORMATION OF ECONOMIC COMPETENCE OF FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS

Abstract

The article addresses the methodology of using chatbots in the formation of the economic competence of future technology teachers while studying the discipline 'Fundamentals of Production (Economics and Organisation of Production)'.

It is proven that chatbots are a powerful tool that facilitates the integration of the latest technologies into the educational process, creating conditions for a

personalised approach, supporting students' independent work and providing immediate feedback. The use of chatbots in studying production economics allows students not only to become familiar with theoretical concepts such as production capacity, production costs and the organisation of production processes, but also to apply the acquired knowledge in practice.

Chatbots can be used to organise learning modules, conduct testing, simulate economic situations and carry out final assessment tasks. This enables students to interact actively with the material, promotes the development of analytical and critical skills and also provides opportunities for a deeper understanding of economic terms and principles.

The article also emphasises the importance of using chatbots as tools for independent learning, where students are provided with additional resources, self-assessment tasks and personalised recommendations.

Particular attention is paid to the use of chatbots for simulating economic processes, which gives students the opportunity to make managerial decisions, assess the efficiency of production processes and optimise costs. Such simulations allow students not only to become acquainted with the economic aspects of production in theory, but also to apply their knowledge in real-life conditions. Chatbots also monitor students' progress, giving teachers the opportunity to adjust the educational process in a timely manner and provide students with individual recommendations.

In addition, the article demonstrates the potential of chatbots as an effective tool for developing the economic competence of future technology teachers and provides specific methodological recommendations for their use in creating flexible and adaptive learning environments.

Keywords: chatbots, economic competence, future technology teachers, interactive learning.

Problem Statement. In the context of contemporary educational challenges, particularly during the period of global digitalisation, the educational process is undergoing significant changes. One of the most promising areas is the integration of the latest information technologies, particularly chatbots, which are capable of substantially transforming traditional approaches to teaching and creating new opportunities for achieving high educational outcomes. Modern education requires not only academic knowledge but also the ability to adapt to rapid changes in the technological environment, which requires educators to develop certain competencies. One such important competency is economic competency, which plays a key role in the training of future teachers of technology and is an important component of the professional preparation of future educators, as it enables them to manage resources effectively, understand economic processes in the field of technology and optimise educational processes [4].

In this regard, the use of chatbots for developing students' economic competency is extremely promising. Due to their interactivity and accessibility, chatbots can significantly improve the educational process by providing students with immediate access to resources, tests, assignments and consultations at any time, regardless of their location. They make it possible to create personalised learning pathways by adapting content to the individual needs of each student. This is especially important in the context of training future teachers of technology, as their ability to independently acquire economic knowledge is a necessary condition for the development of critical thinking and preparation for the real challenges of professional activity [1].

The use of chatbots makes it possible to explain complex economic concepts in an interactive format, monitor students' progress and provide feedback. In particular, chatbots can be used to organise thematic online lectures, create economic games, conduct interactive tests and simulate real economic situations, all of which contribute to a deeper understanding of the material. In

addition, chatbots can effectively serve as a support tool for students' independent work by enabling them to quickly find the necessary materials, request additional information and receive guidance.

Of particular interest is the possibility of using chatbots in distance learning, which is especially relevant in the context of global pandemics and other force majeure situations. Chatbots can become a powerful tool for ensuring continuity of learning by supporting students and teachers at all stages of the educational process. They provide integration of various learning materials, which makes education more accessible and flexible [7].

Taking all this into account, the prospects for using chatbots in the training of future teachers of technology are extremely promising. These technologies not only improve the quality of education but also foster the development of new teaching methods that meet the demands of the modern world, where the pace of change and innovation has become an integral part of the educational process.

The issue of integrating modern information technologies into the educational process is highly relevant in the context of the rapid development of digital technologies, particularly artificial intelligence (AI). With each passing year, technologies are becoming increasingly accessible and powerful, opening up new opportunities for education and allowing traditional approaches to teaching to be transformed. This issue is being actively studied by many scholars, particularly in Ukraine, where researchers are working intensively on the implementation of the latest technologies in the field of education [6].

In particular, Hrytsyshyn and Habruseva (2020), in their work 'Artificial Intelligence Today and Tomorrow', focus on the fundamental and applied problems of modern technologies, particularly artificial intelligence, which plays a significant role in the development of educational processes. They emphasise that AI makes it possible to automate many teaching functions, improve the personalised approach to students and create more flexible forms of learning

oriented towards learners' individual needs. This helps increase the effectiveness of education, particularly in distance learning [3].

Vlasenko's research (2023) also addresses the importance of using pedagogical technologies in continuing education, with particular emphasis on the role of technology in improving the quality of learning. Vlasenko notes that technologies such as chatbots can significantly facilitate interaction between teachers and students by providing quick access to learning materials, as well as enabling the automation of assessment and feedback processes [2].

Another important topic is the use of chatbots in education, which is being actively explored by scholars and practitioners. According to Peven, Khmil and Makohonchuk (2023), chatbots integrated with CRM systems can transform traditional models of learning by providing not only automated process management but also support for the personalised learning of each student. This makes it possible to create a more effective, convenient and flexible model of learning in which students can receive help and support in real time.

Another significant aspect is the influence of artificial intelligence on the transformation of traditional teaching methods. In his article, Sharov (2023) notes that the development of AI makes it possible to create new teaching methods, particularly through intelligent systems that adapt to students' level of knowledge. Such systems not only ensure the individualisation of the educational process but can also help identify students' weak points and provide them with additional learning resources [9].

The study 'Chatbot & CRM System: What Can They Do Together?' (CRMium, 2023) also emphasises that chatbots integrated with CRM systems have considerable potential for use in educational institutions by automating routine tasks and improving communication between learners and teachers. This contributes to increasing the efficiency of the educational process and makes it possible to use new technologies to create personalised learning pathways [8].

In addition, considerable attention is being paid to the changes that chatbots bring to education, particularly in the context of 'Education for Zoomers' (Osvita FP, 2025). This study examines how chatbots are transforming traditional approaches to teaching and making learning more adaptive and interactive, which is especially important for the new generation of students who prefer using digital tools [5].

Thus, scholarly research demonstrates the enormous potential of using artificial intelligence, chatbots and CRM systems in education. They can significantly improve the effectiveness of learning, make it more personalised and accessible, and adapt the educational process to the requirements of the modern information environment. This makes it possible to create more effective learning models that meet students' needs and improve the quality of education as a whole.

The aim of the article is to examine the possibility of integrating chatbots into the formation of the economic competence of future teachers of technology while studying the discipline 'Fundamentals of Production (Economics and Organisation of Production)'.

Modern chatbots are increasingly viewed as a tool not only for automating communication but also for providing adaptive, personalised learning. They are capable of ensuring immediate access to learning materials, automatically assessing students' responses, collecting analytical data on progress, and proposing individual learning pathways. In the context of developing the economic competence of future teachers of technology, which includes the ability to analyse economic processes, make well-grounded decisions and apply economic knowledge in practical activity, the choice of a platform for creating chatbots has not only a technical but also a pedagogical dimension.

No-code solutions enable teachers to create educational chatbots quickly. One such platform is Chatfuel, which, through its block-based interface, makes it possible to design dialogues for test-based surveys and thematic micro-courses. At

the same time, the limited interaction logic makes it less suitable for creating complex adaptive scenarios. Similar in its operating principle is ManyChat, which supports multichannel communication, automated messages and integration with various web resources, but it also has limitations when it comes to building deep logical structures.

To implement intelligent chatbots that use Natural Language Processing (NLP), it is advisable to use platforms with more advanced capabilities. Dialogflow (Google) provides powerful NLP mechanisms that make it possible to analyse users' responses and create adaptive educational pathways. Such mechanisms can be used to model economic dialogues, build simulations of economic situations, and so on. Similar capabilities are offered by IBM Watson Assistant, which has an advanced set of tools for analysing message context, integrating with business systems and constructing complex dialogue logic. Watson Assistant, in particular, makes it possible to carry out semantic analysis of students' responses and adapt further tasks according to previous results. This makes the platform valuable for building adaptive learning environments with a high level of personalisation.

Other professional-level solutions include Microsoft Bot Framework and Rasa. Microsoft Bot Framework integrates with corporate educational environments, particularly Microsoft Teams, which makes it possible to organise chatbots as part of the educational process in university LMSs. Rasa is an open framework with flexible configuration capabilities: it allows complex dialogues to be created on the basis of machine learning and integrated with external data. However, the use of these solutions requires a high level of technical competence and development skills.

Among the platforms oriented towards the universal business and educational segment, Tidio and Landbot should also be highlighted. Tidio makes it possible to create chatbots quickly for websites and social media, and it can be

used to implement basic educational scenarios by providing students with answers to frequently asked questions, access to economic reference materials or explanations. Landbot offers a more visual bot builder, which allows more complex scenarios to be developed through a drag-and-drop interface, including conditional transitions and logical blocks. This makes Landbot more suitable for creating interactive educational dialogues, particularly for organising case study classes in economics, simulating business decisions and similar activities.

Another tool worth mentioning is Botsify, which supports integration with various educational services and provides an opportunity to create bots for the automatic administration of tests, surveys and the collection of statistical data on students' responses. In this context, Botsify can be used to organise differentiated assessment of knowledge in economic topics, which contributes to the development of students' competence in the independent analysis and generalisation of economic information.

A separate category is represented by specialised educational platforms such as Moodle Bot, a chatbot for the Moodle LMS, which extends the standard functionality of the learning platform through interactive assistants. It can automatically inform students about learning tasks, deadlines and test results, as well as generate thematic questions from economics modules. The integration of such a chatbot directly into the learning platform helps increase the convenience of access to educational content and strengthen students' motivation to study economic disciplines.

When evaluating the above-mentioned platforms from the perspective of pedagogical requirements, it should be noted that the choice of a particular tool should be determined not only by its technical characteristics but also by its ability to ensure interactivity, adaptability and analytical support within the educational process. The level of implementation complexity, the possibility of LMS integration, language processing mechanisms, and the availability of functions for

analysing students' academic performance are key evaluation criteria. Thus, simple no-code solutions may be effective for organising basic educational services, whereas platforms with NLP and the possibility of deep personalisation open up prospects for developing a high level of economic competence through adaptive learning and the analysis of individual educational pathways.

The development of the economic competence of future teachers of technology is an important stage of their training, as it allows them to develop the ability to analyse economic processes, manage costs and make well-grounded decisions regarding resources and the organisation of production. Chatbots can significantly improve this process by ensuring an interactive and personalised approach to learning, automating routine tasks and giving students an opportunity to receive feedback quickly. In this context, they become an effective tool for developing economic knowledge and skills.

The use of chatbots makes it possible to create a clear structure for the educational process. Students can gain access to theoretical materials, additional sources and test tasks through a chatbot, which ensures their interactive engagement in the learning process.

After each lecture or class, the chatbot can offer a brief summary of the main concepts, for example 'production capacity', 'business economics' and 'production planning', followed by knowledge testing. Students are able to check themselves through questions based on the lecture material, while the chatbot provides feedback on the correctness of their answers, explaining each answer option.

The chatbot can also direct students to additional materials or exercises aimed at deeper mastery of the topic. This may be useful for students' independent work, as they will be able to turn to the chatbot for assistance at any time.

Cost analysis is one of the important components of the discipline 'Fundamentals of Production'. Chatbots can be used to create realistic simulations

in which students must calculate the production cost of goods under changing parameters, such as changes in the cost of raw materials or changes in labour.

After students have familiarised themselves with the theoretical material, the chatbot offers them a simulation. For example, students are given a task concerning a change in the cost of raw materials at an enterprise and must calculate how this will affect the production cost of goods. The chatbot automatically checks the calculations and explains why this affects the final costs in one way or another.

This not only allows students to apply the theoretical knowledge they have acquired in real conditions, but also contributes to the development of analytical abilities, since they are required to think like managers and make economically well-grounded decisions.

Another important part of learning is the evaluation of the efficiency of production processes. Chatbots can be used to simulate real production situations in which a student chooses the optimal strategy for organising production or reducing costs. For example, the chatbot may offer the student a choice between several options: purchasing new equipment or optimising existing production processes.

After the student chooses one of the options, the chatbot provides feedback, explaining which option is the most economically justified and why. This task allows students to see the consequences of their decisions and gain experience in resource management.

Chatbots can also be used to support students' independent work. After each class, they may be offered additional tasks or questions for self-assessment. The chatbot provides recommendations, for example, on how to improve cost calculations or which tools to use to evaluate the efficiency of production processes. This allows students to deepen their knowledge independently by working with additional materials provided by the bot.

An important part of such independent work is the opportunity to receive immediate feedback from the chatbot, which allows the student to correct mistakes and improve their knowledge in real time, without having to wait for assessment from the teacher.

The chatbot can be used to conduct final assessments that make it possible to evaluate the level of knowledge acquired by students at the final stages of learning. The tests may include theoretical questions, cost calculation tasks and practical assignments related to the optimisation of production processes.

After completing the test, the chatbot provides students with feedback, offering a detailed explanation of each correct and incorrect answer. This helps them understand their mistakes and correct them while receiving recommendations for further improvement of their knowledge.

Thanks to the possibility of automatic monitoring of results, the chatbot can regularly provide students with feedback on their progress. For example, if a student has difficulties with a particular topic, the chatbot can recommend additional materials or exercises to improve knowledge in that area.

In addition, the bot can monitor students' performance in real time and offer individual recommendations for improving results

Conclusions. The use of chatbots in the educational process makes it possible to significantly increase the effectiveness of developing the economic competence of future teachers of technology. Chatbots provide an interactive approach to learning, support students in the independent study of material, automate testing and provide feedback, all of which contribute to a deeper understanding of economic principles and practical skills. They also make it possible to adapt learning to the needs of each student, which makes the educational process more flexible and personalised.

References

1. Бровко Ю. В. Чат-боти для організації дистанційного навчання. *Новітні інформаційно-комунікаційні технології в освіті: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих учених та студентів* (24- 25 листопада 2021 р.). Полтава : ПП «Астрая», 2021. С. 157.

2. Власенко О. Використання педагогічних технологій у безперервній освіті. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Педагогіка. Психологія»*. 2023. № 3. С. 1–6. DOI: https://doi.org/10.32782/academ-ped.psyh-2023-3.02.

3. Грицишин В., Габрусева Н. Штучний інтелект сьогодні і завтра. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжн. наук.-техн. конф*. (м. Тернопіль, 14-15 трав. 2020 р.). Тернопіль, 2020. С. 247–248. URL : http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/31822/2/FAPMT_2020_Hrytsyshyn_V-Artificial_intelligence_247-248.pdf.

4. Малиш К., Чабан С., Приходько Я., Наливайко О. Чатботи у навчанні: перспективи та ризики. *Матеріали XXI Всеукраїнської науково-методичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Наумовські читання».* Харків, 2023. DOI:10.13140/RG.2.2.33032.19203.

5. Освіта для зумерів: як чат-бот змінює URL : https://osvitafp.com.ua/2025/02/14/osvita-dlia-zumeriv-iak-chat-bot-zminiuie-vykladannia/.

6. Певень К. О., Хміль Н. А., Макогончук Н. В. Вплив штучного інтелекту на зміну традиційних моделей навчання та викладання: аналіз технологій для забезпечення ефективності індивідуальної освіти. *Перспективи та інновації науки.* 2023. № 11 (29). С. 306–316. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-11(29)-306-316.

7. Посохова Ольга. Перспективи впровадження чат-ботів в освіті та використання мікронавчання. URL: https://lessondelivery.org/chatbot/foreducation/perspektivichat-botiv-osvita-mikronavchannya.html (дата звернення: 09.05.2024).

8. Чат-бот & CRM-система: що можуть разом? URL : https://crmium.com/uk/chatbot-crm-systema-shho-mozhut-razom.

9. Шаров С.В. Сучасний стан розвитку штучного інтелекту та напрямки його використання. *Українські студії в європейському контексті: зб. наук. пр*. 2023. № 6. С. 136–144.

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

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 2. № 4. 2026

Signed for printing on April 18, 2026
Format 60x90/8. Offset paper and printing Headset Times New Roman.
Mental printing. arc. 11,26. Edition 100 copies.