EUROPEAN OPEN SCIENCE SPACE

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

5th International Scientific and Practical Conference

MODERN SCIENTIFIC RESEARCH: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS

ISSUE №107

eoss-conf.com

September 28-30, 2026
Riga, Latvia

EUROPEAN OPEN SCIENCE SPACE

Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference

"Modern Scientific Research: Theoretical And Practical Aspects"

September 28-30, 2026

Riga, Latvia

Collection of Scientific Papers

Latvia, 2026

UDC 01.1

Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Research: Theoretical And Practical Aspects» (September 28-30, 2026, Riga, Latvia). European Open Science Space. 2026.

ISBN 979-8-89704-963-9 (series)
DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026

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

The conference is registered in the database of scientific and technical events of UkrISTEI to be held on the territory of Ukraine (Certificate №561 dated 28.07.2026).

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

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

ISBN 979-8-89704-963-9

EUROPEAN OPEN SCIENCE SPACE

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

CONTENT

Section: Accounting and Taxation

Пушкарь І.В., Дрига В.В.
МОДЕЛЬ ДЮПОН ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ ДРАЙВЕРІВ ПРИБУТКОВОСТІ ПІДПРИЄМСТВА……... 13

Section: Agricultural Sciences

Фроленко Н., Люта І.
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОСЛИН ДО ПОСУХИ……... 17

Кіріченко А., Люта І.
РОЛЬ ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ У СТВОРЕННІ НОВИХ СОРТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР…….. 23

Литвиненко Н., Люта І.
РОЛЬ КУЛЬТУРИ IN VITRO У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЛЕНОГО САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ…….. 32

Москаленко А.Д., Люта І.
РИЗОБАКТЕРІЇ ЯК БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТИМУЛЮВАННЯ РОСТУ РОСЛИН……. 40

Section: Architecture and Construction

Davydov I.
STEEL-INSPECT AS A TOOL FOR COMPUTATIONAL SUPPORT OF THE INSPECTION OF INDUSTRIAL STEEL STRUCTURES……. 50

Section: Automation and Robotics

Суботін О., Новіков Д., Новікова Н., Пасько М.М.
ВИКОРИСТАННЯ БІОНІЧНИХ РОБОТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ…… 55

Section: Biology and Microbiology

Юношева М., Люта І.
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОДОБРИВ ІЗ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ…….. 60

Section: Ecology and environmental protection

Balakhanova G.V.
THE IMPACT OF ECOLOGICAL RESTORATION MEASURES ON THE REFORMATION OF BIOTIC STRUCTURE AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF DEGRADED ECOSYSTEMS…….. 68

Balakhanova G.V.
STUDY OF SOIL MICROBIOME STRUCTURAL CHARACTERISTICS AS A BIOINDICATOR OF BIODIVERSITY AND FUNCTIONAL STATUS IN ANTHROPOGENICALLY IMPACTED ECOSYSTEMS…… 85

Section: Economy

Місяйло О., Белей Н.
АВТЕНТИЧНІСТЬ ЯК КАПІТАЛ ТА ДРАЙВЕР РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ТУРИЗМУ ЗАКАРПАТТЯ…… 101

Пісковець О., Рибченко Р.
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОРГІВЛІ ЯК ГАЛУЗІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ…… 105

Section: Finance and Banking

Кубецька О., Романішина Ю.
СТРАХУВАННЯ ВОЄННИХ РИЗИКІВ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЗАЛУЧЕННЯ ПРИВАТНИХ ІНВЕСТИЦІЙ У ВІДБУДОВУ УКРАЇНИ…….. 109

Круш В.
ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У МАЛОМУ І СЕРЕДНЬОМУ БІЗНЕСІ 114

Section: Geography, Geology and Geodesy

Гольцов А.
СУЧАСНИЙ РОЗВИТОК СТРУКТУРИ ПОЛІТИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ… 118

Section: History and Cultural Studies

Литвиненко О.Є.
АГРОНОМИ ТА СЕЛЯНСТВО В УСРР У 1920-х РОКАХ: ДОСВІД ПРОФЕСІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ……. 121

Osypova D.
THE "PLACES OF MEMORY" PROJECT AS AN ARTISTIC REFLECTION OF UKRAINIAN IDENTITY…….. 126

Section: Information Technology, Cyber Security and Computer Engineering

Kalashnyk V., Kolysko O.
TEACHING BLACK-BOX TEST DESIGN THROUGH EQUIVALENCE PARTITIONING, BOUNDARY VALUE ANALYSIS, AND DECISION TABLES IN THE SIMPLE BOOKING SYSTEM…….. 130

Kononenko O., Serdukov N., Lehostaieva P., Kurinnyi I., Maltsev V.V.
DEEP PACKET INSPECTION (DPI) OF IOT PROTOCOLS: DETECTING STRUCTURAL VULNERABILITIES IN SMART HOME DEVICE COMMUNICATION……. 135

Nechyporuk V., Kamianskyi Y., Kulyk O., Rozhenko A., Kaliakin S.
ANALYSIS OF USERS' DIGITAL FOOTPRINTS IN OPEN SOURCES…….. 138

Нестеров А.Д., Федотова Н.А.
ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ НАРАТИВУ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГЕНТИ У СУЧАСНИХ ВІДЕОІГРАХ…… 140

Горобець І.
ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ПЛАСТИЧНОЇ ХІРУРГІЇ: СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ……. 143

Horobets V., Ilchuk D., Taichuk V., Hariaha T., Maltsev V.V.
AUTOMATION OF ANOMALY DETECTION IN ENCRYPTED NETWORK TRAFFIC USING MACHINE LEARNING METHODS…… 147

Bobreshova I., Lebedieva O.
COMPARATIVE ANALYSIS OF SQL-BASED REPORTING AND POWER BI DASHBOARDS AS APPROACHES TO PRESENTING THE RESULTS OF DATA ANALYSIS……... 151

Урлапова Д., Іванов Ю., Кривогубченко С.
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ СЕМАНТИЧНОЇ ОЦІНКИ В МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ЗМІН ВЕБКОНТЕНТУ…… 156

Lashko O., Svitlychnyi V.
INTELLIGENT ADAPTIVE CYBERSECURITY SYSTEMS FOR PROTECTING CLOUD IOT ECOSYSTEMS IN REAL TIME…….. 159

Section: International Relations

Бабіна В., Кравченко О.В.
ЦИФРОВА ДИПЛОМАТІЯ ДЕРЖАВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ТРАНСФОРМАЦІЇ МІЖНАРОДНОГО ВПЛИВУ……... 162

Section: Jurisprudence

Сирота О.
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗНИЖКИ НА ТОРГ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ АКТИВІВ…… 168

Біша Я., Вишневська Н.
ТРЕНАЖЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ВОДІЇВ: НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА БЕЗПЕКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ…… 172

Section: Logistics and Transport

Мельник О.М.
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ БУНКЕРУВАННЯ СУДЕН АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ПАЛИВАМИ….. 175

Section: Management, Public Administration and Administration

Ryshchenko M.
FORMATION OF AN ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM FOR INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM…….. 179

Кандагура К., Мархай Я.
КРОСКУЛЬТУРНА АДАПТАЦІЯ ТОПМЕНЕДЖМЕНТУ МІЖНАРОДНИХ КОМПАНІЙ: ГЛОБАЛЬНІ ПРАКТИКИ ТА ЛОКАЛЬНИЙ КОНТЕКСТ УКРАЇНИ…….. 183

Rudachenko O., Troian V., Uhodnikova O.
FINANCIAL MECHANISMS FOR ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES…… 186

Руда Л.П., Стрелецький В.Я.
ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА ЯК МЕХАНІЗМ ІНТЕГРАЦІЇ БАГАТОКУЛЬТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІДПРИЄМСТВА……. 191

Dubrova D., Lebedieva O.
SELECTING A PROJECT MANAGEMENT APPROACH FOR SMALL ENTERPRISES: AGILE AND WATERFALL EFFECTIVENESS CRITERIA……. 195

Грідін О.
ASSESSMENT CENTER В АРХІТЕКТУРІ УПРАВЛІННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЯМИ ПЕРСОНАЛУ: ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД.. 198

Section: Mechanics and Electrical Engineering

Олійник Ю., Васюченко П., Пономаренко О.
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРІВ В СИСТЕМАХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ…….. 202

Васюченко П., Пономаренко О., Секало Л.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ОБМЕЖУВАЧІВ СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СИСТЕМАХ ВІТРОВИХ ТУРБІН…….. 207

Васюченко П., Колінський А.
ПІДТРИМКА СТАБІЛЬНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ КОРОТКОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ СИСТЕМ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ……... 211

Meish Y., Samar T.
DECENTRALIZATION OF THE ENERGY SYSTEM AS A STRATEGY FOR UKRAINE'S ENERGY SECURITY…….. 215

Васюченко П., Пономаренко О., Омельченко І.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛЯЦІЇ ЗМІННОЇ ЧАСТОТИ ДЛЯ МЕРЕЖЕВОГО ІНВЕРТОРА З УРАХУВАННЯМ ОПТИМІЗАЦІЇ ВТРАТ…… 218

Васюченко П., Циганеску К.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ІНВЕРТОРІВ У РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ, ЩО ФОРМУЮТЬ МЕРЕЖУ, ЗА УМОВ НЕНАВМИСНОГО ОСТРІВКУВАННЯ……... 223

Section: Medicine

Chaikin R.I., Nosov A.M., Oleshko T.B., Oleshko O.M.
THE INFLUENCE OF FKBP5 GENE POLYMORPHISMS ON THE DEVELOPMENT OF PTSD……. 228

Єскін О.Р., Шейніна Д.М.
МІГРЕНЬ: СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПАТОГЕНЕЗ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ЛІКУВАННЯ……... 230

Ходак А.С., Трач В.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ЛІКУВАННЯ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОФІЛАКТИКИ РАКУ ШЛУНКА……. 235

Ставицька О.Ф., Шаніна В.В., Гольцев К.А.
ВАКУУМНА ТЕРАПІЯ РАН У СУЧАСНІЙ ХІРУРГІЇ……... 239

Пилипенко О., Кубрак Д.
АНТИОКСИДАНТНІ ФЕРМЕНТИ СЛИНИ ПРИ ПАТОЛОГІЯХ СЛИЗОВОЇ ОБОЛОНКИ РОТОВОЇ ПОРОЖНИНИ……... 241

Чуприна М.В., Маліч Т.С.
ВПЛИВ ЦИРКАДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ФІЗИЧНИЙ РОЗВИТОК ТА ТЕРМІНИ ГОСПІТАЛІЗАЦІЇ НЕДОНОШЕНИХ НЕМОВЛЯТ У ВІДДІЛЕННЯХ ІНТЕНСИВНОЇ ТЕРАПІЇ…… 243

Дауренов У.Е., Нурбай О.М., Ахметов Д.Н., Турекулова А.Е.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ХИРУРГИЧЕСКОМУ ЛЕЧЕНИЮ КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА: МИНИ ИНВАЗИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ…….. 246

Маджидов Ш.А., Набиханова М.М.
АНТИМИКРОБНАЯ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ УГРОЗА: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФАКТОРА И СТРАТЕГИИ КОНТРОЛЯ……. 250

Section: Military affairs and national security

Станімак О., Шмиголь В., Калеников Р.
ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИДОВОЇ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ ТА СИСТЕМНІ ОБМЕЖЕННЯ…… 257

Каленіков Р., Шмиголь В., Станімак О.
ЖИВУЧІСТЬ ТАКТИЧНОЇ НАВІГАЦІЇ: АКТУАЛЬНІСТЬ КЛАСИЧНОЇ ТОПОГРАФІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ В ЕПОХУ ПРИДУШЕННЯ GPS…….. 260

Section: Pedagogy, Philology and Linguistics

Musayeva G.A.
THE ROLE OF VIRTUAL EXPERIMENTS IN TEACHING PHYSICS... 264

Огар Л.І., Савченко О.О.
МЕДІАРЕСУРСИ ТА СОЦІАЛЬНІ МЕРЕЖІ В НАВЧАННІ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ УЧНІВ СТАРШИХ КЛАСІВ…….. 267

Balo H.
CRITERIA FOR SELECTING GERMAN LANGUAGE FILMS AND VIDEO MATERIALS FOR STUDENTS IN GRADES 10 AND 11…….. 272

Melnychuk N.O.
EMOTIVITY, EXPRESSIVENESS AND EVALUATIVENESS: A CONTEMPORARY UNDERSTANDING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THESE CATEGORIES……. 276

Кіндер Д.
ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ МАЙБУТНЬОГО ПЕДАГОГА В УМОВАХ ЦИФРОВОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА…… 279

Bolbit Y.
FACTORS AND PRINCIPLES IN TEACHING LANGUAGES, TRANSLATION, AND INTERPRETING…… 284

Babych M., Samar O., Furmanchuk N.
TRANSFERABLE SKILLS IN HIGHER EDUCATION UNDER MARTIAL LAW…… 288

Андрєєв О.В., Тагунова І.К.
ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ ТА НАУЦІ. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ……. 291

Kovalenko O.Y., Hontarenko I.S.
FROM LANGUAGE SUPPORT TO ACADEMIC INTEGRATION: GENERATIVE AI IN ACADEMIC ENGLISH EDUCATION FOR CHINESE PhD STUDENTS IN UKRAINE……. 293

Строкаль О.
ПОЕТИКА ТОПОСУ І ЛОКУСУ У ВІРШІ О. ДОВГОГО «ЖИВА ВОДА. ТУТ ЩЕ ЖИВА ВОДА…»……. 305

Черепанов О.
КОГНІТИВНІ ЗАСАДИ ДІЄСЛІВНОЇ ПРЕФІКСАЦІЇ В СУЧАСНІЙ НІМЕЦЬКІЙ МОВІ: ПРОСТОРОВИЙ, АСПЕКТУАЛЬНИЙ ТА ФРЕЙМОВИЙ ВИМІРИ…….. 308

Ганецька Л.В., Кушевська Н.М., Заверуха Ю.Г.
МЕТОДОЛОГІЯ ПОСТРЕДАГУВАННЯ МАШИННОГО ПЕРЕКЛАДУ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НОВОГО ПОКОЛІННЯ…… 312

Птуха В.А.
НАЦІОНАЛЬНО-КУЛЬТУРНА СЕМАНТИКА АНГЛІЙСЬКИХ ТОПОНІМІВ……. 319

Зелінська Т.С.
ФОРМУВАННЯ ІНШОМОВНОЇ ЛЕКСИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТАРШОКЛАСНИКІВ ЗАСОБАМИ ГЕЙМІФІКАЦІЇ……... 321

Баличева А.С.
ЕМОЦІЙНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОЇ МІЖКУЛЬТУРНОЇ КОМУНІКАЦІЇ ПОЛІЦЕЙСЬКИХ……. 325

Section: Physical and mathematical sciences

Михайленко В., Каракой Н.
СТВОРЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ ПОХІДНОЇ В КУРСІ МАТЕМАТИКИ СТАРШОЇ ШКОЛИ……. 328

Vidmachenko A.P.
CHARACTERISTICS OF WATER GEYSERS ON TRITON. ……... 332

Section: Physical Culture and Sports

Стецюк А.Д., Бодик М.А., Омельяненко І.А.
ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ПРАВООХОРОНЦІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ…… 340

Войнаровська Н., Пахолюк А., Гапонюк С.
ПРОФЕСІЙНО-ПРИКЛАДНА ФІЗИЧНА ПІДГОТОВКА СТУДЕНТІВ У КОЛЕДЖІ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ…… 342

Полтко В., Бовсуновська Н.
САМОКОНТРОЛЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРЕНУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ЛЕГКОАТЛЕТІВ…….. 351

Section: Psychology

Жовтобрух М.
ПСИХОЛОГІЧНИЙ СУПРОВІД ДІТЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ В УМОВАХ ІНКЛЮЗИВНОГО НАВЧАННЯ…….. 358

Богач В., Тафінцева С.
ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПІДЛІТКІВ ВІД ЦИФРОВОГО СЕРЕДОВИЩА…… 361

Koshil A.I.
CONSTRUCTING DIGITAL IDENTITY: PSYCHOLOGICAL MECHANISMS OF PERSONAL AGENCY…… 366

Melnychuk D.
PSYCHODIAGNOSTIC INSTRUMENTS AND SOCIOLINGUISTIC CORRELATES OF PSYCHOLOGICAL CAPITAL…… 370

Стахова О.О., Гриб В.В.
РОЗВИТОК СЛОВЕСНО-ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ У ДОШКІЛЬНИКІВ ІЗ ЛОГОПАТОЛОГІЄЮ…….. 372

Section: Technical Sciences

Люлька Д., Пономаренко В.
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ВІДДІЛЕНЬ……... 375

Фафлей І.Я.
КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ПАКЕРІВ ТА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ГЕРМЕТИЗАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ…….. 379

Solntsev V., Borovik V., Bagliuk G., Solntseva T.
NON-EQUILIBRIUM PROCESSES AND NONLINEAR THERMAL BEHAVIOUR DURING RELAXATION AND RECRYSTALLIZATION OF METALS AND MIXTURES OF THEIR POWDERS DEFORMED BY COLD PRESSING…….. 383

Буданов П., Кирисов І.
ВПЛИВ ПОШКОДЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ НА ЇХ ПАРАМЕТРИ…… 388

Рамш В., Потапенко М.
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ……. 390

Пугач І., Харченко В., Пугач І.
ОСОБИСТА НЕОБЕРЕЖНІСТЬ ПОТЕРПІЛОГО В СУДОВІЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ: КРИТЕРІЇ ПРИЧИННОЇ АТРИБУЦІЇ ТА МЕЖІ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ…….. 393

Пожуєв В., Левицька Т.
ДЕФОРМУВАННЯ ОБОЛОНОК ІЗ НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ……. 406

Section: Tourism and Hotel and Restaurant Business

Nemchenko Y.
DIGITAL REVENUE MANAGEMENT AS A TOOL FOR ENHANCING THE SOCIO-ECONOMIC EFFICIENCY OF HOTEL-AND-RESTAURANT COMPLEXES…….. 409

Section: Accounting and Taxation

МОДЕЛЬ ДЮПОН ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ ДРАЙВЕРІВ ПРИБУТКОВОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Пушкарь Ірина Володимирівна
к.держ.упр., доцент
Кафедра обліку та оподаткування
Дрига Вадим В'ячеславович
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна

Прибутковість належить до ключових характеристик фінансової результативності підприємства, оскільки відображає його здатність генерувати прибуток за наявного обсягу залучених ресурсів і капіталу. Водночас оцінювання лише абсолютної величини прибутку або окремих показників рентабельності не дає змоги повною мірою встановити економічні причини їх зміни. Зокрема, рентабельність власного капіталу ROE характеризує віддачу капіталу власників, проте її зростання може бути результатом різних за своєю економічною природою процесів. Це зумовлює необхідність застосування методичного інструментарію, який дозволяє перейти від констатації рівня прибутковості до ідентифікації факторів, що її формують.

Одним із таких інструментів фінансового аналізу є модель Дюпон, в основу якої покладено декомпозицію рентабельності власного капіталу на взаємопов'язані фактори. Її аналітична цінність полягає у можливості встановити, яким чином операційна результативність, ефективність використання активів та структура фінансування підприємства формують кінцеву віддачу власного капіталу. Сучасні дослідження підтверджують актуальність використання моделі Дюпон для визначення ключових детермінант ROE та обґрунтування операційних, інвестиційних і фінансових рішень [1]. Базовою для поглибленого фінансового аналізу є трифакторна модель Дюпон:

$$\text{ROE} = \frac{\text{ЧП}}{\text{ЧД}} \cdot \frac{\text{ЧД}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{А}}{\text{ВК}}$$

де ROE – рентабельність власного капіталу; ЧП – чистий прибуток; ЧД – чистий дохід від реалізації продукції, товарів, робіт, послуг; А – середня величина активів; ВК – середня величина власного капіталу.

Відповідно до моделі, рентабельність власного капіталу формується під впливом трьох основних драйверів: чистої рентабельності продажів, оборотності активів та мультиплікатора власного капіталу. Це дозволяє пов'язати ROE з прибутковістю продажів, ефективністю використання активів та структурою джерел їх фінансування. Проте, доцільно зазначити, що при порівняльному

аналізі необхідно враховувати, що висока оборотність активів не завжди повинна автоматично трактуватися як свідчення більш ефективного використання майна. Так, якщо підприємства мають активи різного віку або вони були придбані у різні періоди з суттєвою різницею в цінах, частина відхилення показника може бути зумовлена бухгалтерською оцінкою, а не реальною операційною ефективністю. Тому, при інтерпретації Дюпон-компонентів доцільно враховувати не тільки динаміку значення показника, але й характеристики облікових показників, на основі яких вони розраховані.

Перевагою трифакторної моделі є можливість встановити різну економічну природу однакового рівня ROE на підприємствах. Висока рентабельність власного капіталу одного підприємства може формуватися переважно завдяки високій рентабельності продажів, іншого підприємства внаслідок інтенсивного використання активів, а третього – через значний фінансовий леверидж. Отже, однакові значення ROE не обов'язково характеризують однаковий механізм формування прибутковості. Саме тому декомпозиція показника має більшу аналітичну цінність порівняно з його ізольованим оцінюванням.

Разом із тим трифакторна модель має певні обмеження. Насамперед показник чистої рентабельності продажів акумулює результати операційної діяльності, вплив витрат на фінансування та оподаткування. Унаслідок цього зміна чистої маржі не дає можливості однозначно встановити, який саме чинник став джерелом відповідної зміни ROE. Для поглиблення факторної діагностики доцільним є використання п'ятифакторної моделі Дюпон:

$$\text{ROE} = \frac{\text{ЧП}}{\text{EVT}} \cdot \frac{\text{EVT}}{\text{EVIT}} \cdot \frac{\text{EVIT}}{\text{ЧД}} \cdot \frac{\text{ЧД}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{А}}{\text{ВК}}$$

де EVT – прибуток до оподаткування; EBIT – прибуток до сплати відсотків і податків.

П'ятифакторна модель дозволяє виокремити податкову складову, відсоткове навантаження, операційну рентабельність продажів, оборотність активів та фінансовий леверидж. Таким чином, розширення моделі забезпечує не механічне збільшення кількості факторів, а поглиблення економічної інтерпретації джерел формування ROE. Практичне використання розширених моделей Дюпон підтверджує їх здатність деталізувати чинники зміни прибутковості та розмежовувати вплив операційної діяльності, використання активів і фінансування [4].

Аналітичні відмінності між трифакторною та п'ятифакторною моделями Дюпон доцільно систематизувати (табл. 1).

Наведена систематизація дозволяє розглядати перехід від трифакторної до п'ятифакторної моделі як поглиблення фінансового аналізу прибутковості. Застосування трифакторної моделі дозволяє з'ясувати чи формується ROE переважно за рахунок маржі, ефективності використання активів або структури капіталу. П'ятифакторна модель деталізує перший і третій напрями та дозволяє встановити вплив операційної маржі, відсоткового і податкового навантаження.

Саме ця властивість розширює можливості моделі Дюпон як інструменту діагностики драйверів прибутковості.

При цьому зростання ROE потребує змістовної інтерпретації, оскільки позитивна динаміка кінцевого показника може формуватися під впливом різних факторів. Збільшення операційної рентабельності продажів може бути пов'язане зі зміною цін, структури реалізації або співвідношення доходів і операційних витрат. Зростання оборотності активів характеризує збільшення обсягу доходу, сформованого одиницею активів. Зміна відсоткового навантаження відображає вплив витрат на обслуговування боргового фінансування, тоді як фінансовий леверидж характеризує співвідношення активів і власного капіталу. Отже, аналіз динаміки ROE доцільно доповнювати встановленням того, який саме компонент моделі став визначальним драйвером його зміни.

Таблиця 1. Аналітичні можливості моделей Дюпон у визначенні драйверів прибутковості підприємства

Характеристика	Трифакторна модель	П'ятифакторна модель
Цільовий показник	ROE Рентабельність власного капіталу	ROE Рентабельність власного капіталу
Операційний драйвер	Чиста рентабельність продажів	Операційна рентабельність продажів
Ефективність використання ресурсів	Оборотність активів	Оборотність активів
Фінансування діяльності	Мультиплікатор власного капіталу	Фінансовий леверидж та відсоткове навантаження
Податковий вплив	Окремо не ідентифікується	Виокремлюється через коефіцієнт податкового навантаження
Аналітична можливість	Визначення базових джерел формування ROE	Поглиблена ідентифікація операційних, фінансових та податкових драйверів ROE
Основне обмеження	Чиста маржа поєднує вплив декількох різних факторів	Вищі вимоги до деталізації та коректної інтерпретації фінансової інформації
Призначення	Первинна факторна діагностика прибутковості	Поглиблений факторний аналіз механізму формування прибутковості

Систематизовано автором

Так, результати емпіричних досліджень групи науковців підтверджують, що компоненти, пов'язані з прибутковістю, оборотністю та фінансуванням, неоднаково пов'язані з ROE. Автори наголошують на практичній цінності моделі Дюпон для фінансових, операційних та інвестиційних рішень [2].

Модель Дюпон доцільно розглядати не лише як арифметичний спосіб розкладання ROE, а як структуровану систему фінансової діагностики. Такий підхід узгоджується із сучасними дослідженнями, в яких модель використовується як основа факторного фінансового аналізу та моделювання

прибутковості підприємства [3]. Її застосування забезпечує логічний перехід від результативного показника до факторів його формування та дозволяє визначати напрями подальшого поглибленого аналізу.

Водночас результати декомпозиції потребують обережної економічної інтерпретації. Зростання окремого компонента моделі не завжди можна однозначно оцінювати як позитивне. Особливо це стосується фінансового левериджу. Адже збільшення співвідношення активів і власного капіталу за певних умов сприяє підвищенню ROE, проте одночасно може бути пов'язане зі зростанням ролі позикового фінансування. Тому внесок цього драйвера необхідно оцінювати разом із показниками фінансової стійкості, вартості боргу та здатності підприємства обслуговувати свої зобов'язання. Аналогічно зміна податкового коефіцієнта потребує врахування особливостей оподаткування.

Таким чином, модель Дюпон розширює аналітичні можливості традиційного коефіцієнтного аналізу прибутковості шляхом встановлення взаємозв'язку між кінцевим показником ROE та факторами його формування. Трифакторна модель є доцільною для первинної діагностики та дозволяє виокремити три базові драйвери прибутковості. Перехід до п'ятифакторної моделі поглиблює дослідження через розмежування операційної рентабельності, відсоткового та податкового навантаження. У результаті фінансовий аналіз орієнтується не лише на оцінку досягнутого рівня ROE, а й на визначення економічного механізму його формування. Це підвищує інформаційну цінність аналізу та створює підґрунтя для обґрунтування управлінських рішень щодо підвищення прибутковості підприємства.

Список використаних джерел

1. Кавтиш О.П., Прокопчук Ю.О. Використання багатофакторної моделі компанії «Дюпон» для аналізу прибутковості діяльності підприємства. Сучасні проблеми економіки і підприємництво. №20. 2017. С. 237-246. URL: https://sb-keip.kpi.ua/article/view/101507
2. Jape S., Malhotra M. A study of DuPont model: its application and identification of key determinants for public limited companies. International Journal of Business and Globalisation. 2023. Vol. 35, No. 1/2. P. 173-202. DOI: 10.1504/IJBG.2023.134396.
3. Evaluating the financial performance of listed REIT firms in South Africa: A 7-step DuPont model technique. International Journal of Applied Economics, Finance and Accounting. 2023. Vol. 17, No. 2.
4. Kuznetsov N. V., et al. Mathematical Modeling for Financial Analysis of an Enterprise: Motivating of Not Open Innovation. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2021. Vol. 7, No. 1. Article 79. DOI: 10.3390/joitmc7010079.

Section: Agricultural Sciences

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.001.17-23

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОСЛИН ДО ПОСУХИ

Фроленко Наталія
здобувачка вищої освіти
Науковий керівник:
Люта Ірина
асистентка
Кафедра біотехнології та біоінженерії
Миколаївський національний аграрний університет, Україна
https://orcid.org/0000-0002-1672-2337

Анотація. У статті розглянуто сучасні біотехнологічні підходи до підвищення посухостійкості сільськогосподарських культур в умовах водного дефіциту. Охарактеризовано вплив посухового стресу на фізіологічні та молекулярні процеси рослин, а також механізми формування їхньої стійкості до абіотичного стресу. Проаналізовано можливості генетичної інженерії та технології CRISPR/Cas9 для цілеспрямованої модифікації генів, пов'язаних із посухостійкістю. Розглянуто роль ризобактерій та інших корисних мікроорганізмів ризосфери у регуляції фізіологічних процесів рослин і формуванні їхньої стійкості до водного дефіциту. Узагальнено сучасні напрями застосування молекулярно-генетичних і мікробіологічних підходів у дослідженні та підвищенні посухостійкості рослин.

Ключові слова: посухостійкість, біотехнологія, рослини, водний дефіцит, генетична інженерія, CRISPR/Cas9, ризобактерії, абіотичний стрес, адаптація рослин, зміна клімату.

Вступ. Зміна клімату створює дедалі більші ризики для сільськогосподарського виробництва, особливо в регіонах із підвищеною температурою та дефіцитом води. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, негативний вплив кліматичних змін на аграрний сектор у майбутньому може посилюватися, що зумовлює необхідність адаптації сільськогосподарських культур до несприятливих умов [4].

Одним із перспективних напрямів такої адаптації є застосування біотехнологічних підходів. Сучасні методи генетичної інженерії дають змогу формувати рослини з підвищеною стійкістю до посухи, високих температур та інших абіотичних стресів. Використання таких технологій може сприяти збереженню продуктивності культур за несприятливих умов, підвищенню стабільності врожаю та зменшенню залежності сільськогосподарського виробництва від оптимальних параметрів довкілля.

Мета роботи – узагальнити сучасні біотехнологічні підходи до підвищення посухостійкості рослин та охарактеризувати перспективи їх застосування для адаптації сільськогосподарських культур до водного дефіциту. Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі завдання:

1. охарактеризувати вплив посухового стресу на фізіологічні та молекулярні процеси рослин;
2. розглянути основні механізми формування посухостійкості рослин;
3. проаналізувати можливості генетичної інженерії та геномних технологій у підвищенні посухостійкості;
4. охарактеризувати застосування технології CRISPR/Cas9 для модифікації генів, пов'язаних із відповіддю рослин на водний дефіцит;
5. визначити роль ризобактерій та ґрунтового мікробіому у формуванні стійкості рослин до посухи;
6. узагальнити перспективи комплексного застосування генетичних і мікробіологічних біотехнологій для підвищення посухостійкості сільськогосподарських культур.

Вплив посухового стресу на рослини. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур в умовах посухи залишається складним завданням, оскільки дефіцит води порушує процеси росту та розвитку рослин. Абіотичні стреси, зокрема посуха та засолення, істотно обмежують сільськогосподарську продуктивність: вони пригнічують фотосинтез, погіршують поглинання поживних речовин, знижують доступність води та спричиняють окиснювальне пошкодження клітинних структур. Khaliq та співавт. зазначають, що за умов посухового стресу посилюється утворення активних форм кисню (АФК) внаслідок порушення поглинання світла та фотосинтетичного транспорту електронів, що може призводити до фотоокиснювального пошкодження фотосистем. Одночасно посилюється окиснювальне пошкодження клітинних мембран і знижується фотосинтетична активність. Унаслідок цього спостерігаються затримка росту, зменшення біомаси та втрати врожаю [3, 6]. Посуха є однією з головних причин неврожаю у світі та може знижувати середню врожайність на 50% і більше [5].

Генетичні та геномні підходи до підвищення посухостійкості. Для створення посухостійких сортів використовують як традиційні селекційні, так і сучасні молекулярно-генетичні підходи, орієнтовані на вирощування культур у посушливих і напівпосушливих регіонах [10]. Традиційна селекція ґрунтується на схрещуванні та поєднанні бажаних ознак шляхом статевої рекомбінації. Протягом тривалого часу цей підхід сприяв отриманню сортів, адаптованих до посухи та інших несприятливих факторів. Однак його ефективність обмежується тривалістю селекційного процесу та складністю передачі комплексних полігенних ознак, до яких належить і посухостійкість [2, 10].

Одним із суттєвих недоліків традиційної селекції є необхідність багатоетапного схрещування або застосування випадкового мутагенезу, що потребує значних часових і матеріальних ресурсів. Тривалий життєвий цикл

багатьох культур додатково уповільнює створення нових сортів [9]. Як зазначають Özhan Şimşek та співавт., сучасні біотехнологічні підходи дають змогу подолати частину цих обмежень завдяки використанню геномних, генетично-інженерних і мікробіологічних технологій для підвищення посухостійкості рослин [9]. Тому дедалі більшого значення набувають геномні та генетично-інженерні технології, які дають змогу цілеспрямовано впливати на механізми формування посухостійкості. Однак реалізація такого підходу потребує врахування складної генетичної природи посухостійкості та її залежності від умов навколишнього середовища.

Посухостійкість є кількісною генетичною ознакою, яка формується внаслідок скоординованої експресії численних генів і регуляторних шляхів. Експресія відповідних генів активується під впливом факторів навколишнього середовища, особливо у видів, адаптованих до умов обмеженого водопостачання. Це значно ускладнює визначення окремих генів-кандидатів, які можна було б змінити для підвищення стійкості [2, 10].

У огляді Villalobos-López та співавт. [2] наведено дані попередніх досліджень про наявність посухостійкої зародкової плазми у диких зразках звичайної квасолі, поширених у мезичних і дуже сухих середовищах від Мексики до Аргентини. Крім того, встановлено, що експресія генів, пов’язаних із водопровідністю судинної тканини, відбувається лише у посухостійких сортів звичайної квасолі, а не у сприйнятливих. Такий механізм передбачає реорганізацію судинної тканини, для якої необхідна скоординована експресія значної кількості генів.

З огляду на комплексний характер цієї ознаки, геномні підходи дають змогу цілеспрямовано змінювати експресію генів і регуляторних елементів, зокрема за допомогою цис- та трансгенних модифікацій, а також впливати на сигнальні механізми адаптації до посухи. Singh та співавт. розглядають геномні втручання як один із напрямів регулювання захисних реакцій рослин, пов’язаних із фітогормонами, сигнальними молекулами та транскрипційними факторами [10]. Геномна модифікація розглядається як перспективний інструмент підвищення стійкості рослин. Зокрема, надекспресія генів і транскрипційних факторів, залучених до передачі сигналів посухи, може стимулювати накопичення сигнальних молекул і метаболітів, що сприяє підвищенню толерантності. Водночас експресія генів сприйнятливості здатна знижувати стійкість рослин через порушення гормонального балансу, послаблення антиоксидантного захисту та посилене утворення АФК. Отже, для підвищення ефективності генетичної модифікації важливим є застосування технологій, які забезпечують точний вплив на визначені ділянки геному. Одним із таких підходів є цілеспрямоване генетичне редагування за допомогою системи CRISPR/Cas9.

Застосування CRISPR/Cas9 для підвищення посухостійкості. Система CRISPR (англ. clustered regularly interspaced short palindromic repeats, згруповані короткі паліндромні повтори, регулярно розташовані з проміжками) є одним із найбільш перспективних інструментів точного генетичного редагування та

походить від механізмів набутої імунної системи прокаріотів. Angon та співавт. розглядають CRISPR/Cas9 як інструмент точного генетичного редагування, який може застосовуватися для модифікації генів, пов'язаних із відповіддю рослин на посуху та засолення. Її функціонування ґрунтується на послідовному проходженні кількох етапів: адаптації, експресії та дозрівання, а також інтерференції. На етапі адаптації фрагмент чужорідної ДНК, або протоспейсер, інтегрується до CRISPR-локусу з утворенням нового спейсера. Під час експресії та дозрівання відбувається транскрипція CRISPR-ділянки та формування зрілої крРНК із пре-крРНК. Послідовність, розташована перед CRISPR-локусом, виконує функцію промотора. На етапі інтерференції нуклеаза Cas9 у комплексі з направляючою РНК (sgRNA, яка містить crRNA та tracrRNA) розпізнає комплементарну цільову ділянку ДНК і здійснює її розщеплення [1].

Після регенерації рослин отримані генетично відредаговані трансформанти піддають молекулярному аналізу для визначення характеру внесених змін. Для виявлення та характеристики мутацій у цільових ділянках можуть застосовувати ПЛР, секвенування, методи аналізу поліморфізму, T7E1 та інші молекулярно-генетичні підходи. Завершальним етапом є оцінювання функціонального ефекту внесених змін за допомогою біологічних тестів, особливо якщо модифікація пов'язана з формуванням певної фенотипової ознаки, що має агрономічне значення [5].

Така цілеспрямованість CRISPR/Cas9 дає змогу цілеспрямовано змінювати генетичний матеріал рослин і модифікувати гени, пов'язані з реакцією на водний дефіцит. Зокрема, Angon та співавт. узагальнюють результати досліджень, у яких редагування генів, пов'язаних із реакцією на абіотичні стреси, сприяло формуванню більш стійких фенотипів. Наприклад, редагування CRISPR без введення чужорідної ДНК застосовували для отримання мутацій, пов'язаних із посухостійкістю, у нуту шляхом елімінації генів 4CL та RVE7 у протопластах. За умов посухи продуктивність отриманих ліній істотно не знижувалася порівняно з диким типом. В іншому дослідженні мутації гена ARGOS8 у кукурудзі сприяли підвищенню врожаю зерна за посушливих умов.

Стійкість рослин до посухи може також залежати від морфологічних особливостей листка. За допомогою CRISPR/Cas9 було модифіковано гени SRL1 та SRL2, які контролюють фенотип закрученого листка через зміну кількості, розміру та розташування базальних клітин. У посушливих умовах мутантні рослини накопичували більше абсцизової кислоти та мали нижчий рівень малонового діальдегіду порівняно з рослинами дикого типу, що свідчить про підвищену толерантність [1].

Роль ризобактерій та ґрунтового мікробіому у посухостійкості рослин. Генетичне редагування дає змогу цілеспрямовано впливати на окремі компоненти молекулярних і фізіологічних механізмів посухостійкості рослин. Однак стійкість до водного дефіциту формується не лише за рахунок внутрішніх генетично зумовлених механізмів, а й значною мірою залежить від взаємодії рослини з мікроорганізмами ґрунту. Тому поряд із безпосередньою

модифікацією геному перспективним напрямом є використання корисних мікроорганізмів ризосфери, здатних посилювати природні механізми адаптації рослин до абіотичних стресів.

До таких мікроорганізмів належать ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (англ. plant growth-promoting rhizobacteria), – корисні вільноживучі ґрунтові бактерії, які колонізують ризосферу, ризоплан або можуть існувати як ендофіти в тканинах кореня. Satognon та співавт. у проведеному метааналізі показали, що застосування ризобактерій, які стимулюють ріст рослин, може позитивно впливати на ріст кореневої системи та врожайність культур за умов посухи [8]. Їхня взаємодія з рослинами є важливим компонентом функціонування ризосфери: разом з іншими мікроорганізмами, зокрема грибами, ризобактерії сприяють росту та підвищенню продуктивності рослин, а також беруть участь у формуванні їхньої стійкості до абіотичних стресів.

Взаємодія рослин із мікроорганізмами активує молекулярні мережі, які регулюють гормональний статус та експресію генів. У результаті посилюється накопичення осмолітів і поживних речовин, активуються антиоксидантні системи, механізми транспорту протонів і компартменталізації іонів, що сприяє запуску стрес-реагуючих шляхів. Крім того, ризобактерії здатні синтезувати фітогормони, зокрема індол-3-оцтову кислоту, яка стимулює розвиток коренів і пагонів, а також цитокініни, що регулюють поділ і диференціацію клітин [2].

Важливу роль у цьому процесі відіграє ґрунтовий мікробіом, який розглядається як перспективний компонент сталого землеробства, особливо на проблемних ґрунтах. Tripathi та співавт. наголошують на значенні рослин-асоційованого мікробіому, зокрема ризобактерій, ендофітів і арбускулярних мікоризних грибів, у підвищенні стійкості культур до абіотичних стресів та підтриманні здоров’я ґрунту. Ризобактерії, ендофіти та арбускулярні мікоризні гриби покращують поглинання поживних речовин, регулюють гормональний статус рослин і посилюють їхній захист від біотичних та абіотичних стресів. Зокрема, вони підвищують активність антиоксидантних ферментів, таких як каталаза та пероксидаза, а також сприяють підтриманню осмотичного балансу завдяки накопиченню цукрів і проліну [11].

Безпосереднє пом’якшення наслідків посухи ризобактеріями відбувається за допомогою кількох механізмів. Одним із ключових є продукція 1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдезамінази штамами Bacillus licheniformis, Bacillus amyloliquefaciens та Achromobacter piechaudii ARV8. Цей фермент знижує рівень стресового етилену, завдяки чому послаблюється його негативний вплив на ріст рослин [8]. Інший механізм пов’язаний із секрецією позаклітинних полісахаридів такими видами, як Pseudomonas putida, Bacillus subtilis, Bacillus cereus та іншими бактеріями. EPS сприяють агрегації ґрунту та утриманню вологи, що підвищує здатність рослин протистояти водному дефіциту [2, 8].

Таким чином, ґрунт, мікроорганізми та рослини утворюють взаємозалежну систему, важливу для підтримання продуктивності та стійкості агроекосистем. Різноманітні ґрунтові мікробні спільноти регулюють кругообіг поживних

речовин, стабілізують структуру ґрунту, беруть участь у розкладанні органічної речовини та підтримують корисні взаємодії в ризосфері. Усе це сприяє росту рослин і підвищує їхню стійкість до посухи, засолення та токсичної дії важких металів.

Водночас інтенсивні агротехнічні практики, зокрема надмірний обробіток ґрунту, монокультури та широке застосування синтетичних добрив і пестицидів, можуть порушувати ці взаємозв'язки. Хоча такі методи забезпечили короткострокове підвищення врожайності під час Зеленої революції, їх тривале застосування сприяло деградації ґрунтів, зменшенню мікробного різноманіття та послабленню взаємодій між рослинами й мікроорганізмами [11].

Висновки. Посуха порушує фізіологічні та клітинні процеси рослин, знижуючи їхній ріст, розвиток і продуктивність. Сучасні біотехнологічні підходи, зокрема генетична інженерія та CRISPR/Cas9, дають змогу цілеспрямовано модифікувати гени, пов'язані з формуванням посухостійкості.

Важливим доповненням є використання ризобактерій та інших корисних мікроорганізмів, які посилюють природні механізми адаптації рослин до водного дефіциту. Поєднання генетичних і мікробіологічних технологій є перспективним напрямом підвищення стійкості сільськогосподарських культур до посухи в умовах зміни клімату.

Список використаних джерел

1. Angon P. B., Mondal S., Akter S., Sakil M. A., Jalil M. A. Roles of CRISPR to mitigate drought and salinity stresses on plants. Plant Stress. 2023. Vol. 8. Article 100169. DOI: https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100169.
2. Biotechnological advances to improve abiotic stress tolerance in crops. International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, No. 19. Article 12053. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms231912053.
3. Coordinated physiological and molecular reprogramming by brassinosteroids improves soybean tolerance to combined salt and drought stress. Plant Signaling & Behavior. 2026. Vol. 21. DOI: https://doi.org/10.1080/15592324.2026.2616539.
4. European Environment Agency. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe : EEA Report 04/2019. Copenhagen : European Environment Agency, 2019.
5. Gene editing to improve drought tolerance. CABI Reviews. 2022. DOI: https://doi.org/10.1079/cabireviews202217048.
6. Khaliq A. A., Naeem M. S., Din K. U. et al. Ascorbic and salicylic acid regulate antioxidant defense and drought stress responses in maize. Plant Signaling & Behavior. 2026. Vol. 21, No. 2. DOI: https://doi.org/10.1080/15592324.2026.2664295.
7. Parmar H., Goel A., Gelaw T. A. et al. Enhancing drought resilience in crops: mechanistic approaches in the face of climate challenge. Plant Molecular Biology. 2025. Vol. 115. Article 82. DOI: https://doi.org/10.1007/s11103-025-01616-3.
8. Satognon F., Prasad R., Watts D. B., Adesemoye A. O., Torbert H. A., Mullenix M. K. Appraisal of plant growth promoting rhizobacteria in enhancing drought

tolerance across major cereal and legume crops: Meta-analysis. Environmental and Experimental Botany. 2026. Vol. 247. Article 106376. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2026.106376.
9. Şimşek Ö., Isak M. A., Dönmez D., Dalda Şekerci A., İzgü T., Aka Kaçar Y. Advanced biotechnological interventions in mitigating drought stress in plants. Plants. 2024. Vol. 13, No. 5. Article 717. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13050717.
10. Singh P. K., Srivastava D., Tiwari P., Tiwari M., Verma G., Chakrabarty D. Genomic and proteomic responses to drought stress and biotechnological interventions for enhanced drought tolerance in plants. Current Plant Biology. 2022. Vol. 29. Article 100239. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100239.
11. Tripathi S., Dabral S., Kundu S., Saini D. K., Jamal H., Meena R. K., Somayanda I., Varma A., Bahuguna R. N., Jagadish S. V. K. Harnessing the plant-associated microbiome: a sustainable solution for enhancing crop resilience to abiotic stresses and problematic soils // Plant Stress. 2025. Vol. 18. Art. 101033. DOI: https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101033.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.002.23-31

РОЛЬ ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ У СТВОРЕННІ НОВИХ СОРТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Кіріченко Артур
здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
Науковий керівник:
Люта Ірина
асистентка
Кафедра біотехнології та біоінженерії
Миколаївський національний аграрний університет, Україна
https://orcid.org/0000-0002-1672-2337

Анотація. У статті розглянуто значення генетичної інженерії у сучасній селекції сільськогосподарських культур. Проаналізовано основні принципи використання генетично-інженерних технологій для цілеспрямованої зміни спадкових властивостей рослин, а також відмінності між традиційною селекцією, трансгенезом та сучасним редагуванням геному. Особливу увагу приділено технологіям CRISPR/Cas, базовому та прайм-редагуванню, які дають змогу здійснювати точні зміни генів, пов'язаних із продуктивністю, стійкістю до біотичних і абіотичних стресів, якістю продукції та адаптацією рослин до несприятливих умов середовища. Розглянуто приклади застосування генетичної інженерії у рисі, пшениці, кукурудзі, томатах та інших культурах. Визначено переваги й обмеження технологій, зокрема проблеми позамішеневих змін,

доставки систем редагування в рослинні клітини, регуляторні питання та необхідність польової перевірки отриманих генотипів. Обґрунтовано, що генетична інженерія є важливим інструментом сучасної селекції, який доповнює традиційні методи та сприяє прискоренню створення сортів із цінними господарськими ознаками.

Ключові слова: генетична інженерія, геномне редагування, CRISPR/Cas, селекція рослин, сільськогосподарські культури, трансгенез, генетично модифіковані рослини, стійкість до стресів, продуктивність, сорт.

Вступ. Сільське господарство постійно потребує створення рослин із покращеними господарсько-цінними ознаками. Зростання потреби у продовольстві, зміна кліматичних умов, поширення шкідників і фітопатогенів, дефіцит води та скорочення доступних ресурсів створюють необхідність підвищення продуктивності рослин одночасно зі зменшенням негативного впливу виробництва на довкілля. У таких умовах традиційні селекційні методи залишаються фундаментальними, однак доповнюються молекулярно-генетичними технологіями, здатними безпосередньо впливати на спадковий матеріал рослин [1; 2].

Генетична інженерія рослин сформувалася як напрям біотехнології, що дозволяє цілеспрямовано змінювати генетичний матеріал організму. На відміну від класичної селекції, за якої необхідні ознаки поєднуються переважно шляхом схрещування та подальшого добору, генетична інженерія створює можливість працювати з конкретними генами або генетичними регуляторними елементами. Це суттєво розширює можливості селекціонера, особливо у випадках, коли потрібна ознака відсутня в доступному селекційному матеріалі або її перенесення традиційними методами є складним [3; 4].

Перші покоління генетично модифікованих рослин створювали переважно шляхом введення до геному рослини додаткової генетичної конструкції. Такий підхід отримав назву трансгенезу. Він дозволив створити рослини, стійкі до певних комах-шкідників, гербіцидів, вірусних захворювань або несприятливих факторів середовища. Надалі розвиток молекулярної біології сприяв появі цисгенезу, інтрагенезу та технологій спрямованого редагування геному, які дозволяють значно точніше модифікувати генетичний матеріал [3; 5].

Особливе місце серед сучасних технологій займає система CRISPR/Cas. Її розвиток суттєво змінив підходи до генетичного вдосконалення рослин, оскільки система дає можливість цілеспрямовано змінювати визначені ділянки ДНК. Сучасний інструментарій включає не лише класичний Cas9, а й інші Cas-білки, базові редактори та прайм-редактори, що розширюють спектр можливих генетичних змін [1; 2].

Таким чином, актуальність дослідження значення генетичної інженерії для створення нових сортів сільськогосподарських культур визначається необхідністю поєднання високої продуктивності рослин із стійкістю до несприятливих факторів, покращеною якістю продукції та адаптивністю до змін навколишнього середовища.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження – проаналізувати роль генетичної інженерії та сучасних технологій редагування геному у створенні нових сортів сільськогосподарських культур.

Завдання дослідження:

- охарактеризувати основні напрями застосування генетичної інженерії у селекції рослин;
- розглянути можливості технологій CRISPR/Cas, базового та прайм-редагування;
- проаналізувати використання генетичної інженерії для підвищення продуктивності та стійкості рослин;
- охарактеризувати можливості покращення харчової й технологічної якості сільськогосподарської продукції;
- визначити основні переваги та технологічні обмеження генетичної інженерії;
- розглянути перспективи поєднання генетичного редагування з традиційною та геномною селекцією.

Генетична інженерія як інструмент сучасної селекції

Селекція сільськогосподарських рослин традиційно базується на використанні спадкової мінливості, гібридизації та доборі рослин із бажаними ознаками. Протягом тривалого часу саме ці методи забезпечували формування сортів із підвищеною якістю ознак. Однак традиційна селекція може бути обмежена тривалістю селекційного циклу, складністю передачі окремих ознак та наявністю репродуктивних бар'єрів між видами [3; 6].

Принципова перевага генної інженерії полягає у можливості працювати з конкретними генами, які контролюють певні біологічні або господарські ознаки. Введення, вимкнення, зміна або регуляція експресії окремих генів може використовуватися для отримання рослин із заданими властивостями, не замінюючи селекцію повністю. Після молекулярної модифікації необхідно провести регенерацію рослин, генетичну та фенотипову характеристику, оцінювання стабільності ознаки, випробування продуктивності та перевірку поведінки рослин у різних умовах вирощування [3; 5; 7].

У сучасній селекції особливо важливим стало поєднання генетичної інженерії з геномікою, маркер-асоційованою селекцією, геномною селекцією, високопродуктивним секвенуванням та фенотипуванням. Таке поєднання дозволяє визначати гени-кандидати, оцінювати їх функції та використовувати отриману інформацію для цілеспрямованого вдосконалення рослин [2; 8].

Основні напрями генетичного вдосконалення сільськогосподарських культур

Одним із головних напрямів генетичної інженерії є підвищення стійкості рослин до біотичних факторів - це є комахи-шкідники, грибні, бактеріальні та вірусні захворювання. Генетичні конструкції або зміни власних генів рослини можуть забезпечувати підвищення стійкості до конкретного патогена чи шкідника. Класичним прикладом трансгенного підходу є використання генів

Bacillus thuringiensis, що кодують інсектицидні білки. Введення відповідних генів у рослини дозволило отримати культури зі стійкістю до певних груп комах-шкідників. Такий напрям генетичної інженерії став одним із найбільш відомих практичних застосувань трансгенних технологій у рослинництві [3; 9].

Іншим важливим напрямом є формування стійкості до абіотичних стресів. Рослини в польових умовах можуть зазнавати впливу посухи, високої або низької температури, засолення ґрунту, дефіциту поживних елементів та інших несприятливих факторів. Генетичне редагування генів, пов'язаних із регуляцією стресових відповідей, відкриває можливості для створення рослин, здатних ефективніше адаптуватися до таких умов. Дефіцит води є одним із факторів, що обмежують продуктивність сільськогосподарських культур у багатьох регіонах. Генетична інженерія може використовуватися для модифікації генів, які беруть участь у регуляції водного балансу, сигнальних шляхів, розвитку кореневої системи та реакції рослин на водний дефіцит. Засолення ґрунтів також є серйозною проблемою рослинництва. Генетичне редагування регуляторних систем, пов'язаних із транспортом іонів та підтриманням клітинного гомеостазу, розглядається як один із підходів до підвищення солестійкості рослин [1; 10].

Ще одним напрямом є підвищення врожайності. Врожайність є складною полігенною ознакою, яка формується внаслідок взаємодії багатьох генів із умовами середовища, через що її генетичне вдосконалення потребує не лише зміни окремого гена, а комплексного аналізу генетичних мереж та взаємодії між різними компонентами. Сучасні дослідження демонструють можливість редагування генів, пов'язаних із архітектурою рослини, кількістю та розміром зерен, розвитком репродуктивних органів та іншими компонентами продуктивності [1; 8].

Покращення харчової та технологічної якості продукції

До таких ознак належать вміст білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин та інших біологічно активних сполук. Одним із відомих напрямів є біофортифікація - генетичне підвищення вмісту певних поживних речовин у харчових культурах. Відомим прикладом є Golden Rice, у якому генетичні конструкції були використані для забезпечення накопичення β-каротину в зерні. Генетичне редагування також може застосовуватися для зміни метаболічних шляхів. Якщо певний фермент контролює накопичення небажаної сполуки або визначає швидкість формування корисного метаболіту, зміна відповідного гена може вплинути на кінцевий хімічний склад рослини [1; 3; 5].

Окремий напрям становить покращення післязбиральних характеристик. Генетичне редагування може використовуватися для впливу на процеси дозрівання, старіння та псування плодів і овочів. Це створює потенційну можливість збільшення терміну зберігання продукції та зменшення післязбиральних втрат [11].

Значення CRISPR/Cas у створенні нових сортів

Система CRISPR/Cas стала одним із найбільш важливих інструментів сучасного геномного редагування. На відміну від випадкового мутагенезу, за

якого виникає велика кількість мутацій і необхідний тривалий добір, CRISPR/Cas дає можливість спрямовувати генетичні зміни до визначеної ділянки геному. Принцип роботи системи полягає у використанні направляючої РНК, яка забезпечує розпізнавання цільової послідовності ДНК, та Cas-білка, здатного здійснювати розріз або іншу модифікацію нуклеїнової кислоти. Після цього клітинні механізми репарації ДНК можуть призвести до виникнення заданої генетичної зміни [2; 4].

Подальший розвиток технології призвів до появи базового редагування. Базові редактори дозволяють здійснювати певні типи заміни азотистих основ без класичного дволанцюгового розриву ДНК. Це розширило можливості точного редагування генів [2; 5].

Також одним із сучасних напрямом є прайм-редагування, ця технологія призначена для виконання ширшого спектра точних генетичних змін, вставки та делеції. Цей метод розглядається як перспективний інструмент для точного конструювання бажаних генотипів сільськогосподарських рослин. Мультиплексне редагування дозволяє модифікувати кілька генетичних мішеней у межах одного дослідницького підходу. Це особливо важливо для складних ознак, які контролюються декількома генами [1; 10].

Генетична інженерія у підвищенні стійкості до захворювань та абіотичних факторів

Захворювання рослин є одним із основних факторів втрати врожаю. Фітопатогени можуть уражувати корені, листки, стебла, плоди та насіння, знижуючи продуктивність і якість продукції. Тому створення стійких сортів є одним із пріоритетних завдань сучасної селекції [10; 12].

У деяких випадках вимкнення відповідного гена може призвести до підвищення стійкості рослини. Такий підхід відрізняється від класичного введення чужорідного гена, оскільки може базуватися на модифікації власного геному рослини .Дослідження із застосуванням CRISPR/Cas проводяться для підвищення стійкості різних культур до грибних, бактеріальних та вірусних патогенів. [2; 5; 9].

Перспективним є комбінування декількох генетичних змін для формування комплексної стійкості. Однак така стратегія потребує детального вивчення взаємодії генів, оскільки зміна одного компонента метаболічної або сигнальної мережі може впливати на інші властивості рослини [5; 8].

Зміна клімату підвищує значення селекції рослин, здатних підтримувати продуктивність за несприятливих умов. До найбільш важливих стресових факторів належать посуха, висока температура, засолення та інші форми водного або температурного стресу. Генетичні механізми стійкості до посухи пов'язані з великою кількістю процесів: регуляцією продихів, розвитком кореневої системи, накопиченням осмопротекторів, функціонуванням антиоксидантної системи та передаванням стресових сигналів. Тому створення посухостійких сортів потребує комплексного підходу [1; 8].

Застосування генетичного редагування дозволяє досліджувати функцію окремих генів і визначати, які генетичні зміни можуть покращувати адаптивність рослин. Водночас ефективність певної мутації може залежати від генотипу рослини та умов навколишнього середовища, тому лабораторні результати повинні підтверджуватися. Генетичне вдосконалення рослин для умов посухи має не лише селекційне, а й ресурсне значення. Проте така властивість повинна оцінюватися комплексно, оскільки підвищення стійкості до одного стресу не обов'язково автоматично забезпечує високий урожай за всіх інших умов [8; 10].

Значення генетичної інженерії для зернових культур, овочевих та плодових культур

Рис, пшениця, кукурудза, ячмінь та овочеві культури є основою харчування значної частини населення світу. Тому підвищення їх продуктивності, стійкості та харчової цінності має стратегічне значення [7; 9; 10; 13].

У рисі технології генетичного редагування використовуються для дослідження генів, що контролюють урожайність, архітектуру рослини, стійкість до захворювань та стресових факторів. Рис є одним із найбільш досліджених об'єктів рослинної геномної інженерії завдяки добре розробленим системам трансформації та значній кількості геномних даних. Пшениця має складний поліплоїдний геном, що створює додаткові труднощі для генетичного редагування. Розвиток мультиплексних CRISPR-систем розширює можливості роботи з такими складними геномами [1; 2; 10].

Кукурудза також є важливим об'єктом генетичної інженерії. Дослідження спрямовані на покращення продуктивності, стійкості до стресів, якості зерна та інших господарських характеристик. У майбутньому поєднання геномного редагування з геномною селекцією може підвищити ефективність роботи зі складними кількісними ознаками [8; 10].

Особливу увагу з овочевих культур приділяють томату, оскільки він має добре досліджений геном та широкий набір господарських ознак, які можуть бути використані як модель для сучасної селекції. Дослідження показують, що геномне редагування може бути використане для отримання нових фенотипів без необхідності багаторічного комбінування ознак виключно за допомогою традиційної гібридизації [9; 13].

Перспективним напрямом є використання геномного редагування для «de novo» доместикації. Цей підхід передбачає цілеспрямовану зміну декількох генів у дикорослих або малокультурних рослин для швидкого формування ознак, характерних для культурних форм. Таким чином можна розглядати ширший спектр генетичного різноманіття як потенційне джерело нових сільськогосподарських культур [1; 2].

Біобезпека та регуляторні аспекти

Застосування генетичної інженерії у сільському господарстві потребує оцінювання не лише ефективності отриманого сорту, але й потенційних ризиків. Для генетично модифікованих рослин оцінюють характеристики нової

генетичної конструкції, стабільність ознаки, склад продукції та можливий вплив на навколишнє середовище [3].

Сучасне геномне редагування створило додаткові питання щодо класифікації отриманих рослин. Деякі технології дозволяють отримувати зміни, які можуть не містити чужорідної ДНК у кінцевому генотипі. Через це підходи до регулювання таких рослин у різних країнах можуть відрізнятися. Регуляторна оцінка має враховувати не лише технологію, за допомогою якої отримано рослину, а й конкретний генетичний результат, характеристики продукту та потенційні ризики[2; 5; 10].

Переваги та недоліки використання генетичної інженерії

Однією з основних переваг генетичної інженерії є цілеспрямованість. Коли функція гена відома, його можна модифікувати для отримання конкретного біологічного ефекту. Іншою перевагою є потенційне скорочення часу отримання необхідного генотипу. Цілеспрямоване редагування може дозволити змінити необхідну генетичну ділянку без масштабного переформування генотипу [2; 5; 6].

Також є мультиплексні системи що можуть бути спрямовані на кілька генів або регуляторних ділянок, що особливо важливо для складних агрономічних ознак. Ще є можливість використання генетичних ресурсів, які складно інтегрувати традиційними методами. Розвиток цисгенезу, інтрагенезу та геномного редагування розширює спектр підходів, доступних сучасному селекціонеру [1; 3; 5].

Попри значні можливості, генетична інженерія має низку технологічних обмежень. Однією з проблем є ефективна доставка компонентів системи редагування до рослинних клітин та подальша регенерація повноцінних рослин. Для різних видів і генотипів ефективність трансформації може суттєво відрізнятися. Іншою проблемою є виникнення небажаних змін поза цільовою ділянкою. Сучасні системи редагування постійно вдосконалюються, однак контроль потенційних позамішеневих змін залишається важливою частиною досліджень [1; 2; 10].

Необхідно також враховувати плейотропні ефекти, наприклад: один ген може брати участь у декількох біологічних процесах, тому його зміна здатна вплинути не лише на бажану ознаку, а й на інші характеристики рослини. Саме тому молекулярне підтвердження редагування не є достатнім - необхідна детальна фенотипова оцінка отриманих рослин. Особливо складним є генетичне вдосконалення полігенних ознак. Урожайність, посухостійкість, якість зерна та інші складні характеристики контролюються великою кількістю. Тому для таких ознак перспективним є поєднання геномного редагування з геномною селекцією, мультиомними дослідженнями та точним фенотипуванням [5; 8].

Перспективи розвитку генетичної інженерії у селекції

Подальший розвиток генетичної інженерії, ймовірно, пов'язаний із підвищенням точності, розширенням спектра можливих генетичних змін та вдосконаленням систем доставки редакторів у рослинні клітини. Розвиток нових

Cas-білків, базових редакторів, прайм-редакторів та інших інструментів поступово розширює можливості цілеспрямованої модифікації рослинного геному [1; 2].

Перспективним є поєднання геномного редагування з геномною селекцією. Геномна селекція дозволяє прогнозувати селекційну цінність рослин за великою кількістю генетичних маркерів, тоді як геномне редагування дає можливість безпосередньо модифікувати окремі гени або регуляторні елементи. Їхнє поєднання може бути особливо корисним для складних полігенних ознак [8].

Важливим напрямом є інтеграція генетичної інженерії з технологіями штучного інтелекту та аналізу великих біологічних даних. Комп'ютерні методи можуть використовуватися для прогнозування потенційних мішеней редагування, аналізу генетичних взаємодій та вибору оптимальних стратегій модифікації. Разом із цим технологічний прогрес не усуває необхідності тривалих польових випробувань. Рослина є складною біологічною системою, а прояв більшості господарських ознак залежить від умов середовища. Тому результати лабораторних експериментів повинні перевірятися у реальних агроекосистемах протягом декількох сезонів [8; 10].

Висновки. Генетична інженерія є важливим інструментом сучасної селекції, що дає змогу цілеспрямовано змінювати геном рослин для отримання бажаних господарських ознак. Її використання розширює можливості традиційних методів селекції та сприяє створенню нових сортів сільськогосподарських культур із покращеними властивостями.

Перспективним напрямом є застосування технологій CRISPR/Cas, базового та прайм-редагування, які забезпечують точне внесення змін до генетичного матеріалу рослин. Це відкриває нові можливості для підвищення стійкості культур до хвороб і несприятливих умов довкілля, збільшення врожайності, покращення харчової цінності та подовження термінів зберігання продукції.

Водночас використання генетичної інженерії має певні обмеження, зокрема складність трансформації окремих видів рослин, ризик небажаних генетичних змін і виникнення плейотропних ефектів. Особливу увагу необхідно приділяти роботі зі складними полігенними ознаками, а також проведенню лабораторних досліджень і польових випробувань для оцінювання отриманих результатів.

Отже, поєднання генетичної інженерії з традиційною селекцією, геномною селекцією та біоінформатикою сприятиме ефективнішому створенню продуктивних і стійких сортів сільськогосподарських культур. Водночас їх практичне використання потребує комплексного оцінювання ефективності та безпеки, що є важливою умовою розвитку сучасного рослинництва.

Список використаних джерел

1. Tuncel A., Pan C., Clem J. S., Liu D., Qi Y. CRISPR–Cas applications in agriculture and plant research. Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2025. Vol. 26. С. 419–441. https://doi.org/10.1038/s41580-025-00834-3 .

2. Li B., Sun C., Li J., Gao C. Targeted genome-modification tools and their advanced applications in crop breeding. Nature Reviews Genetics. 2024. Vol. 25. C. 603–622. https://doi.org/10.1038/s41576-024-00720-2 .
3. Kamthan A., Chaudhuri A., Kamthan M., Datta A. Genetically modified (GM) crops: milestones and new advances in crop improvement. Theoretical and Applied Genetics. 2016. Vol. 129. C. 1639–1655. https://doi.org/10.1007/s00122-016-2747-6 .
4. Zhu H., Li C., Gao C. Applications of CRISPR–Cas in agriculture and plant biotechnology. Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2020. Vol. 21. C. 661–677. https://doi.org/10.1038/s41580-020-00288-9 .
5. Xu J., Hua K., Lang Z. Genome editing for horticultural crop improvement. Horticulture Research. 2019. Vol. 6. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0196-5 .
6. Miladinovic D., Antunes D., Yildirim K. та ін. Targeted plant improvement through genome editing: from laboratory to field. Plant Cell Reports. 2021. Vol. 40. C. 935–951. https://doi.org/10.1007/s00299-020-02655-4 .
7. Kaniganti S., Saini H., Chaitanya A. K., Hegde N., Shah P., Magar N. D., Rijal R., Kaushik J. J., Nanda D., Sachan S., Kumar A., Bhoite R., Jamedar H. R. CRISPR/Cas genome editing and its applications in cereal crop improvement. Plant-Environment Interactions. 2026. Vol. 7, No. 2. https://doi.org/10.1002/pei3.70133 .
8. Meena V. K. Beyond the single gene: integrating genomic selection and genome editing for the improvement of polygenic traits in crop plants. Scientific Reviews. 2026. Vol. 1. https://doi.org/10.1038/s44573-026-00002-4 .
9. Saini H., Devrani A., Synrem G., Priyanka. Application of CRISPR technology in plant improvement: an update review. Advances in Agriculture. 2025. Vol. 2025. https://doi.org/10.1155/aia/4578877 .
10. Haider S., Singh A. P., Panthi B., Sindhu S. R., Safa N. T., Malik S., Rahimi M. Advances in CRISPR/Cas9 genome editing for crop improvement and global food security. Current Plant Biology. 2026. Vol. 46. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2026.100593 .
11. Dwi Wahyuni F., Fathoni A., Sukma D. Harnessing genome editing for post-harvest improvement of crops: a comprehensive bibliometric and literature review. Current Research in Biotechnology. 2026. Vol. 11. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2026.100384 .
12. Muha-Ud-Din G., Ali F., Hameed A. cCRISPR/Cas9-based genome editing: a revolutionary approach for crop improvement and global food security. Physiological and Molecular Plant Pathology. 2024. Vol. 129. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102191 .
13. Uranga M., Martín-Hernández A. M., De Storme N., Pasin F. CRISPR–Cas systems and applications for crop bioengineering. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2024. Vol. 12. https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1483857

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.003.32-40

РОЛЬ КУЛЬТУРИ IN VITRO У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЛЕНОГО САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ

Литвиненко Наталія
здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня
Науковий керівник:
Люта Ірина
асистентка
Кафедра біотехнології та біоінженерії
Миколаївський національний аграрний університет, Україна
https://orcid.org/0000-0002-1672-2337

Анотація. У статті розглянуто роль культури in vitro у виробництві оздоровленого садивного матеріалу сільськогосподарських, плодових, ягідних та інших вегетативно розмножуваних рослин. Проаналізовано значення здорового вихідного матеріалу для запобігання поширенню вірусів, віроїдів та інших патогенів у процесі вегетативного розмноження. Охарактеризовано основні біотехнологічні методи оздоровлення рослин, зокрема меристемну культуру, термотерапію, хіміотерапію та кріотерапію, а також можливості їх комбінованого застосування. Розглянуто особливості мікроклонального розмноження оздоровлених рослин, регуляції їх росту та розвитку in vitro, контролю генетичної стабільності й фітосанітарної діагностики отриманого матеріалу. Висвітлено значення етапу акліматизації рослин-регенерантів до умов ex vitro та фактори, що впливають на успішність їх подальшого вирощування. Визначено основні технологічні обмеження культури in vitro, серед яких ризик мікробної контамінації, фітотоксичність окремих процедур, сомаклональна мінливість, потреба у спеціальному обладнанні та втрати рослин під час акліматизації. Обґрунтовано, що поєднання культури in vitro з методами елімінації патогенів, сучасною діагностикою та контролем генетичної стабільності створює ефективну основу для отримання якісного оздоровленого садивного матеріалу.

Ключові слова: мікроклональне розмноження, оздоровлений садивний матеріал, меристемна культура, термотерапія, кріотерапія, хіміотерапія, акліматизація.

Вступ. Якість садивного матеріалу є одним із ключових чинників, що визначають продуктивність, життєздатність і фітосанітарний стан сільськогосподарських та плодових культур. Особливого значення це набуває для рослин, які переважно розмножуються вегетативно, оскільки разом із посадковим матеріалом можуть передаватися віруси, віроїди та інші патогени. Наявність таких збудників у материнських рослинах може призводити до поступового поширення інфекції в наступних поколіннях і зниження якості

вирощуваного матеріалу. Тому отримання та підтримання здорового вихідного матеріалу є важливою складовою сучасного рослинництва й розсадництва [1].

Традиційні способи вегетативного розмноження не завжди дають змогу отримувати достатню кількість рослин із гарантованим фітосанітарним статусом. У зв'язку з цим виникла потреба у розробленні біотехнологічних підходів, які дозволяють одночасно отримувати значну кількість рослин і контролювати їхній фітосанітарний стан [2].

Одним із таких підходів є культура рослин in vitro. Її використання створює можливість культивування окремих клітин, тканин, органів або невеликих фрагментів рослини на штучному поживному середовищі за асептичних і контрольованих умов. Завдяки цьому з невеликої кількості вихідного матеріалу можна отримувати значну кількість рослин упродовж відносно короткого періоду. Культура in vitro широко застосовується для мікроклонального розмноження, збереження цінних генотипів, отримання посадкового матеріалу та проведення процедур оздоровлення рослин [3, 4].

Водночас саме використання культури in vitro не означає автоматичного отримання оздоровленої рослини. Для цього необхідно застосовувати спеціальні методи елімінації патогенів. Серед них найбільш відомими є меристемна культура, термотерапія, хіміотерапія та кріотерапія. Залежно від виду рослини й патогену ці методи можуть використовуватися окремо або комбінуватися між собою [1].

Проблема оздоровлення садивного матеріалу має практичне значення для широкого спектра культур. Культура in vitro використовується для отримання здорового матеріалу плодових і ягідних рослин, картоплі, банана, винограду та інших культур, які розмножуються вегетативно. Для представників роду Prunus, наприклад, розробляються різні схеми елімінації вірусів і віроїдів із використанням меристемної культури, термотерапії, хіміотерапії та кріотерапії. У картоплі in vitro-технології застосовують для створення вихідного здорового матеріалу, який надалі використовується для швидкого розмноження. Для банана мікроклональне розмноження дозволяє отримувати велику кількість однорідного садивного матеріалу протягом року [2, 4, 5].

Отже, роль культури in vitro у виробництві оздоровленого садивного матеріалу полягає не лише у швидкому розмноженні рослин. Вона є основою комплексної біотехнологічної системи, що може включати відбір і діагностику вихідного матеріалу, елімінацію патогенів, регенерацію рослин, мікроклональне розмноження, контроль генетичної стабільності, повторну діагностику та акліматизацію.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження – проаналізувати роль культури in vitro в отриманні, оздоровленні та мікроклональному розмноженні якісного садивного матеріалу. Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання: охарактеризувати значення здорового вихідного матеріалу для вегетативно розмножуваних культур; розглянути основні методи елімінації вірусів і віроїдів із рослин; визначити роль культури in vitro у процесах

оздоровлення та мікроклонального розмноження; проаналізувати основні етапи отримання оздоровленого садивного матеріалу; охарактеризувати фактори, що впливають на ефективність культивування рослин in vitro; розглянути основні проблеми та обмеження технології, а також визначити значення діагностики, контролю генетичної стабільності та акліматизації отриманих рослин.

Значення оздоровленого садивного матеріалу та роль культури in vitro у його отриманні

Вегетативне розмноження має важливе значення для багатьох сільськогосподарських, плодових, ягідних і декоративних культур. Його перевагою є можливість збереження господарсько цінних ознак материнської рослини. Однак така особливість одночасно створює ризик накопичення та поширення патогенів. Якщо вихідна рослина інфікована, її вегетативне потомство може зберігати відповідний патоген і надалі передавати його на наступні етапи розмноження.

Особливо важливими є вірусні та віроїдні інфекції. На відміну від багатьох грибних або бактеріальних захворювань, їх неможливо усунути за допомогою звичайних заходів поверхневої дезінфекції рослини. Крім того, наявність вірусу не завжди супроводжується вираженими зовнішніми симптомами. Тому візуального відбору здорових рослин недостатньо для формування гарантовано здорової вихідної колекції [1, 2].

Оздоровлений садивний матеріал має значення не тільки для отримання високопродуктивних насаджень, а й для системи розсадництва загалом. Використання здорових вихідних рослин дає змогу сформувати початковий матеріал, який у подальшому можна багаторазово розмножувати із контролем його фітосанітарного стану [6].

Культура in vitro передбачає вирощування рослинних клітин, тканин, органів або експлантів на штучному поживному середовищі в умовах, де можна контролювати основні фізичні та хімічні фактори. До них належать склад поживного середовища, концентрації регуляторів росту, температура, освітлення, вологість, газообмін та інші параметри [7].

Основною перевагою такої системи є можливість працювати з невеликими частинами рослини. Це особливо важливо під час оздоровлення, коли необхідно виділити ділянку тканини з максимально високою ймовірністю відсутності патогену та забезпечити її регенерацію.

Культура in vitro також дозволяє значно прискорити процес розмноження. За традиційного вегетативного розмноження кількість нових рослин обмежується кількістю доступних пагонів, живців або інших органів. У культурі in vitro один вихідний експлант за відповідно підібраних умов може дати початок значній кількості пагонів, які надалі розділяють і повторно культивують.

Для промислового масштабування мікроклонального розмноження можуть використовуватися біореакторні системи. Вони дають змогу збільшити обсяг культивування та частково автоматизувати окремі технологічні операції. При цьому необхідно контролювати аерацію, доступ кисню, температуру, pH та інші

параметри, оскільки їх відхилення можуть негативно впливати на морфогенез і якість рослинного матеріалу [3].

Основні методи оздоровлення рослин у культурі in vitro

Меристемна культура є одним із найбільш поширених підходів до отримання оздоровлених рослин. Вона передбачає виділення невеликої меристематичної ділянки пагона та її культивування на поживному середовищі з подальшою регенерацією рослини.

Ефективність методу пов'язана з особливостями меристематичних тканин. У зоні активного росту концентрація деяких патогенів може бути нижчою, ніж у диференційованих тканинах, що пов'язують із високою швидкістю поділу клітин, особливостями провідної системи та іншими фізіологічними факторами. Однак повне видалення патогену не гарантується для кожного виду рослин [1].

Важливе значення має розмір меристематичного експланта. Зменшення розміру експланта може підвищувати ймовірність отримання рослини без певного патогену, однак одночасно ускладнює регенерацію. Надто маленькі експланти можуть мати низьку життєздатність і потребувати більш складних умов культивування.

Ефективність меристемної культури можна підвищувати за рахунок її поєднання з іншими методами. Такий підхід дозволяє спочатку знизити концентрацію патогену в рослині, а потім виділити та регенерувати меристематичну тканину [2].

Термотерапія полягає у впливі на рослину або її частини підвищеною температурою протягом визначеного часу. Її застосування ґрунтується на відмінностях стійкості рослинних тканин і патогенів до температурного стресу. Підвищення температури може пригнічувати реплікацію або поширення деяких вірусів і зменшувати їх концентрацію в рослині. Після термічної обробки з рослинного матеріалу можуть виділяти меристематичні ділянки для подальшого культивування in vitro [1].

Температура та тривалість обробки мають бути ретельно підібрані. Надмірний температурний вплив може спричиняти пошкодження тканин, зниження регенераційної здатності та загибель рослин, тому універсального режиму для всіх культур не існує.

Поєднання термотерапії з культурою in vitro дає змогу отримувати та розмножувати регенеранти в контрольованих умовах. Такий підхід застосовують для плодових, ягідних та інших вегетативно розмножуваних культур [2].

Хіміотерапія передбачає використання хімічних речовин, здатних пригнічувати розвиток або реплікацію патогенів. У культурі in vitro відповідні сполуки можуть додаватися до поживного середовища або використовуватися для обробки рослинного матеріалу.

Перевагою методу є безпосередній вплив на патоген під час культивування експланта. Водночас хімічні речовини можуть спричиняти фітотоксичність, а результат залежить від їх концентрації, тривалості впливу та особливостей культури. Фітотоксична дія може проявлятися пригніченням росту, зміною

морфології пагонів, зниженням регенерації та збільшенням частки нежиттєздатних експлантів. Тому необхідно визначати концентрацію, за якої вплив на патоген є достатнім, а пошкодження рослинної тканини – мінімальним [8].

У практичній роботі хіміотерапію доцільно розглядати не як універсальний самостійний спосіб, а як один із компонентів комплексної системи оздоровлення. Залежно від культури та патогену її можуть поєднувати з меристемною культурою, термотерапією або іншими методами [2].

Кріотерапія передбачає вплив на рослинний матеріал наднизькими температурами, найчастіше з використанням рідкого азоту. Метод ґрунтується на можливості вибіркового виживання певних меристематичних клітин після кріообробки, тоді як інфіковані або більш диференційовані клітини можуть бути пошкоджені.

Після кріообробки життєздатні тканини відновлюють ріст і можуть використовуватися для отримання рослин-регенерантів. Важливою перевагою методу є можливість одночасного оздоровлення та збереження цінного генетичного матеріалу [1].

Однак кріотерапія є технологічно складнішою порівняно з базовою меристемною культурою. Результат залежить від типу експланта, протоколу кріоконсервації, тривалості обробки та здатності тканини відновлюватися після заморожування [2].

Регуляція росту та мікроклональне розмноження рослин in vitro

Умови культивування значно впливають на морфогенез. Температура, освітлення, вологість, газовий склад та інші фізичні фактори можуть змінювати швидкість росту й характер розвитку рослин. Тому навіть за однакового складу поживного середовища зміна фізичних умов може призводити до різних результатів.

Технологія виробництва оздоровленого садивного матеріалу потребує комплексного контролю хімічних і фізичних параметрів. Оптимальні умови мають забезпечувати не лише виживання експланта, а й формування морфологічно нормальних рослин, здатних пройти подальшу акліматизацію [9].

Після отримання рослини, яка за результатами діагностики не містить визначеного патогену, необхідно швидко збільшити кількість такого матеріалу. На цьому етапі культура in vitro використовується як система масового мікроклонального розмноження. Типова схема включає введення вихідного матеріалу в культуру, отримання стерильного експланта, формування та мультиплікацію пагонів, укорінення й адаптацію. Кожен етап має специфічні умови та може потребувати окремого складу поживного середовища.

Мультиплікація дає змогу збільшувати кількість пагонів у кількох послідовних циклах, завдяки чому невелика кількість оздоровленого матеріалу може стати основою для отримання значної кількості рослин. Це особливо важливо для культур із повільним або обмеженим традиційним розмноженням.

Показовим прикладом є банан, для якого мікроклональне розмноження застосовують для отримання значної кількості однорідного садивного матеріалу. Культура in vitro дає змогу здійснювати розмноження протягом року та прискорювати отримання цінних форм [4].

Контроль генетичної стабільності та фітосанітарного стану рослин

Однією з важливих вимог до оздоровленого садивного матеріалу є збереження генетичних і сортових ознак вихідної рослини. Культура in vitro не гарантує абсолютної генетичної стабільності, оскільки під час культивування можуть виникати сомаклональні варіації, що проявляються у фенотипових або генетичних змінах. Ймовірність таких змін залежить від генотипу, тривалості культивування, типу експланта, способу регенерації та умов культури. Особливої уваги потребують системи з калюсною фазою, оскільки тривале культивування недиференційованих тканин може підвищувати ризик генетичних змін.

Сомаклональна мінливість може мати як негативні, так і потенційно корисні наслідки. Однак під час виробництва садивного матеріалу основним завданням є збереження сортової ідентичності, тому небажані зміни необхідно мінімізувати та контролювати.

Контроль може включати оцінювання морфологічних ознак, біохімічні та молекулярно-генетичні методи. Важливим є порівняння отриманих регенерантів із вихідною рослиною перед масштабним введенням матеріалу у виробництво [10].

Отримання рослини-регенеранта після меристемної культури або іншого методу оздоровлення ще не є остаточним доказом її здорового статусу. Необхідне проведення відповідної діагностики для підтвердження відсутності конкретного патогену.

Для різних груп рослин і патогенів можуть застосовуватися різні діагностичні підходи. Зокрема, використовують серологічні та молекулярні методи, які дають змогу виявляти вірусний матеріал навіть за відсутності характерних зовнішніх симптомів. Вибір конкретного методу залежить від біології патогену, культури та поставленого завдання [1].

Тому ефективна технологія виробництва оздоровленого садивного матеріалу повинна передбачати контроль не тільки на початку процесу, а й після отримання рослин. Повторна діагностика дозволяє відібрати матеріал, який відповідає встановленим вимогам, і не допустити поширення прихованої інфекції у подальшому розмноженні [6].

Практичний приклад оздоровлення рослин роду Prunus

Особливо складним напрямом є оздоровлення плодових культур роду Prunus, до якого належать слива, вишня, черешня, абрикос та інші важливі культури. Представники цього роду можуть бути чутливими до умов термотерапії, а їхня здатність до регенерації може суттєво відрізнятися залежно від генотипу [2].

Сучасні дослідження демонструють можливість використання комплексних протоколів для елімінації вірусів у представників Prunus. Зокрема, для сливи Prunus domestica було досліджено застосування комбінацій методів in vitro для отримання рослин, вільних від cherry virus A.

Такий приклад демонструє принципове значення культури in vitro: вона виступає не лише способом розмноження, а й технологічною платформою, на якій можна поєднувати різні процедури оздоровлення. Після отримання потенційно вільного від патогену матеріалу його можна регенерувати, розмножувати та перевіряти за допомогою відповідних діагностичних методів [11].

Акліматизація рослин-регенерантів

Завершальним етапом отримання садивного матеріалу є переведення рослин із умов in vitro до зовнішнього середовища. Рослини, вирощені у стерильних умовах на поживному середовищі, мають фізіологічні особливості, через які вони можуть бути чутливими до різкої зміни вологості, освітлення та температури.

Тому процес акліматизації має проводитися поступово. На початковому етапі необхідно створити умови, які мінімізують стрес, після чого поступово адаптувати рослини до нижчої вологості та інших параметрів зовнішнього середовища.

Особливо складною акліматизація може бути для деревних культур. Втрати рослин на цьому етапі можуть суттєво зменшувати загальну ефективність технології, тому підбір субстрату, режиму зволоження, освітлення та поступового загартування є важливими складовими виробничого процесу.

Тому ефективність технології не можна оцінювати лише за кількістю отриманих пагонів in vitro. Важливим показником є частка рослин, які після перенесення у нестерильні умови успішно проходять акліматизацію та продовжують нормальний розвиток [12].

Технологічні проблеми та перспективи

Однією з основних проблем культури in vitro є мікробна контамінація. Бактерії та гриби можуть швидко розвиватися на поживному середовищі та конкурувати з рослинним матеріалом за поживні речовини. Тому асептика є базовою вимогою всієї технології.

Іншою проблемою є фітотоксичність процедур оздоровлення. Підвищені температури, хімічні речовини, кріообробка та інші стресові фактори можуть одночасно впливати і на патоген, і на рослинну тканину. Тому підвищення ефективності елімінації патогенів завжди необхідно розглядати разом зі збереженням життєздатності рослини [8].

Перспективним напрямом є автоматизація та масштабування мікроклонального розмноження. Використання біореакторів та систем тимчасового занурення дозволяє збільшувати обсяг виробництва й оптимізувати використання трудових ресурсів. Проте такі системи потребують контролю газообміну, аерації, вологості, температури та інших параметрів, оскільки їх порушення може спричиняти, зокрема, гіпергідратацію рослин [3].

Ще одним важливим напрямом є використання корисних мікроорганізмів у системах культури тканин. Вивчається можливість застосування рослин-асоційованих мікроорганізмів для покращення росту та розвитку рослин, підвищення їхньої стійкості та оптимізації процесів мікророзмноження.

Загалом подальший розвиток технологій виробництва оздоровленого садивного матеріалу пов'язаний із переходом від окремих лабораторних методик до комплексних стандартизованих систем. Така система повинна охоплювати вибір вихідного матеріалу, процедури оздоровлення, регенерацію, масове розмноження, діагностику, контроль генетичної стабільності, акліматизацію та фітосанітарний контроль готового матеріалу [6].

Висновки. Культура in vitro є важливою складовою сучасної біотехнології виробництва оздоровленого садивного матеріалу. Вона дає змогу проводити оздоровлення рослин у контрольованих умовах, отримувати регенеранти та швидко збільшувати кількість цінного рослинного матеріалу шляхом мікроклонального розмноження.

Основними методами оздоровлення є меристемна культура, термотерапія, хіміотерапія та кріотерапія. Їх ефективність залежить від виду й сорту рослини, типу патогену, розміру експланта та умов культивування. Поєднання декількох методів у межах однієї технологічної схеми може підвищувати ефективність елімінації вірусів і віроїдів.

Важливе значення мають також оптимізація поживного середовища та фізичних умов культивування, контроль мікробної контамінації й запобігання небажаній сомаклональній мінливості. Отримані рослини потребують обов’язкової діагностики фітосанітарного стану, перевірки генетичної стабільності та успішної акліматизації перед подальшим використанням.

Отже, культура in vitro у поєднанні з методами оздоровлення, діагностики та контролю якості забезпечує науково обґрунтований підхід до отримання здорового садивного матеріалу, придатного для подальшого розмноження та практичного використання.

Список використаних джерел

1. Wang M.-R., Cui Z.-H., Li J.-W., Hao X.-Y., Zhao L., Wang Q.-C. In vitro thermotherapy-based methods for plant virus eradication. Plant Methods. 2018. Vol. 14. Article 87. https://doi.org/10.1186/s13007-018-0355-y
2. Szabó L. K., Desiderio F., Kirilla Z., Hegedűs A., Várallyay É., Preininger É. A mini-review on in vitro methods for virus elimination from Prunus sp. fruit trees. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2024. Vol. 156. Article 42. https://doi.org/10.1007/s11240-023-02670-9
3. Murthy H. N., Joseph K. S., Paek K. Y., Park S. Y. Bioreactor systems for micropropagation of plants: present scenario and future prospects. Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article 1159588. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1159588
4. Justine A. K., Kaur N., Savita, Pati P. K. Biotechnological interventions in banana: current knowledge and future prospects. Heliyon. 2022. Vol. 8, No. 11. Article e11636. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11636

5. EPPO. PM4 – Production of healthy plants for planting. European and Mediterranean Plant Protection Organization. https://gd.eppo.int/standards/PM4/
6. Magyar-Tábori K., Mendler-Drienyovszki N., Hanász A., Zsombik L., Dobránszki J. Phytotoxicity and Other Adverse Effects on the In Vitro Shoot Cultures Caused by Virus Elimination Treatments: Reasons and Solutions. Plants. 2021. Vol. 10, No. 4. Article 670. https://doi.org/10.3390/plants10040670
7. Szabó L. K. et al. Elimination of cherry virus A from Prunus domestica 'Besztercei Bt. 2' using in vitro techniques. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2024. Vol. 157. Article 45. https://doi.org/10.1007/s11240-024-02770-0
8. da Silva et al. In vitro therapies for virus elimination of potato-valuable germplasm in Norway. Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 249. P. 7–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.027
9. Grzelak M., Pacholczak A., Nowakowska K. Challenges and insights in the acclimatization step of micropropagated woody plants. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2024. Vol. 159. Article 72. https://doi.org/10.1007/s11240-024-02923-1
10. Pasternak T. P., Steinmacher D. A. Plant Growth Regulation in Cell and Tissue Culture In Vitro. 2024. https://doi.org/10.3390/plants13020327
11. Gautam N., Faroda P., Agarwal T. et al. Effect of microclimatic physical factors on in vitro morphogenesis of plants: a systematic review. Discover Agriculture. 2024. Vol. 2. Article 13. https://doi.org/10.1007/s44279-024-00022-5
12. Krishna H., Alizadeh M., Singh D. et al. Somaclonal variations and their applications in horticultural crops improvement. 3 Biotech. 2016. Vol. 6. Article 54. https://doi.org/10.1007/s13205-016-0389-7

РИЗОБАКТЕРІЇ ЯК БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТИМУЛЮВАННЯ РОСТУ РОСЛИН

Москаленко Анна Дмитрівна
здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня
Науковий керівник:
Люта Ірина
асистентка
Кафедра біотехнології та біоінженерії
Миколаївський національний аграрний університет, Україна
https://orcid.org/0000-0002-1672-2337

Анотація: У статті розглянуто сучасні уявлення про ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR), та їхнє значення як біотехнологічного інструменту сталого рослинництва. Охарактеризовано поняття ризосфери та основні групи корисних бактерій, асоційованих із кореневою системою рослин.

Проаналізовано прямі та непрямі механізми їхньої дії, зокрема біологічну фіксацію азоту, мобілізацію фосфору та інших елементів живлення, синтез фітогормонів, продукцію ферменту ACC-дезамінази, сидерофорів і летких органічних сполук. Окрему увагу приділено здатності PGPR підвищувати стійкість рослин до абіотичних та біотичних стресів, а також формувати індуковану системну стійкість.

Розглянуто особливості азотфіксуючого симбіозу ризобій із бобовими культурами. Наведено приклад застосування ризобактерій для стимуляції росту томата та охарактеризовано перспективи використання представників родів Bacillus, Pseudomonas, Azospirillum, Azotobacter та інших бактерій у складі біодобрив і мікробних біопрепаратів. Визначено основні обмеження практичного застосування PGPR, пов'язані з нестабільністю ефекту в польових умовах, конкуренцією з аборигенною мікробіотою та залежністю результату від ґрунтово-кліматичних умов. Обґрунтовано перспективність використання ризобактерій у технологіях екологічно орієнтованого сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: ризобактерії, ризосфера, PGPR, стимуляція росту рослин, фітогормони, біофертилізатори, азотфіксація, біоконтроль.

Вступ.

Сучасне сільське господарство потребує технологій, які дають змогу одночасно підтримувати продуктивність культур, ефективно використовувати поживні ресурси та зменшувати негативний вплив агровиробництва на ґрунтові екосистеми. Інтенсивне використання мінеральних добрив і засобів захисту рослин відіграло важливу роль у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур, однак їх надмірне або нераціональне застосування може супроводжуватися деградацією ґрунтів, забрудненням водних ресурсів та порушенням природних мікробних угруповань [1; 3]. У зв'язку з цим значна увага приділяється біологічним методам підвищення продуктивності рослин.

Одним із перспективних напрямів сучасної сільськогосподарської біотехнології є використання корисних мікроорганізмів, асоційованих із рослинами. Особливе місце серед них займають ризобактерії, що стимулюють ріст рослин, або PGPR [2; 3; 7]. Це функціональна група бактерій, здатних колонізувати ризосферу або поверхню коренів і позитивно впливати на ріст, розвиток, живлення та стійкість рослин. До бактерій із PGPR-властивостями належать представники різних таксономічних груп, зокрема Bacillus, Pseudomonas, Azospirillum, Azotobacter, Rhizobium, Enterobacter та інших родів [3; 9]. Їхній позитивний вплив може реалізовуватися як безпосередньо через покращення живлення та регуляцію ростових процесів, так і опосередковано – через пригнічення фітопатогенів та активацію захисних реакцій рослини.

Особливістю PGPR є комплексний характер їхньої дії. Одна бактеріальна культура може одночасно продукувати фітогормоноподібні сполуки, мобілізувати фосфор, синтезувати сидерофори, впливати на розвиток кореневої системи та підвищувати стійкість рослини до несприятливих умов [3; 8]. Саме

поєднання декількох механізмів робить ризобактерії перспективним компонентом біотехнологічних систем вирощування сільськогосподарських культур.

Особливо актуальним є застосування PGPR в умовах посухи, засолення, температурного стресу та інших несприятливих факторів, які обмежують продуктивність рослин [6; 14; 15]. Сучасні дослідження свідчать, що корисні бактерії можуть змінювати архітектуру кореневої системи, активувати антиоксидантні механізми, регулювати гормональний баланс і сприяти кращому поглинанню води та мінеральних елементів.

Таким чином, вивчення взаємодії рослин із ризобактеріями має не лише фундаментальне, а й практичне значення для розвитку біологізованих технологій рослинництва.

Мета та задачі дослідження.

Мета статті – узагальнити сучасні наукові відомості про ризобактерії, що стимулюють ріст рослин, охарактеризувати основні механізми їхньої взаємодії з рослинами та визначити перспективи використання PGPR як біотехнологічного інструменту в сільському господарстві.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

– охарактеризувати поняття ризосфери та ризобактерій;

– розглянути основні групи бактерій із властивостями стимуляції росту;

– проаналізувати прямі та непрямі механізми дії PGPR;

– охарактеризувати роль ризобій у біологічній фіксації азоту;

– розглянути участь ризобактерій у регуляції фітогормонального балансу;

– проаналізувати можливості використання PGPR для підвищення продуктивності та стійкості рослин;

– охарактеризувати перспективи застосування ризобактерій у технологіях сталого землеробства.

Ризосфера – це зона ґрунту, яка безпосередньо контактує з кореневою системою рослини та зазнає її впливу. Вона характеризується підвищеною біологічною активністю порівняно з ґрунтом, що не контактує з коренями [1; 3]. Однією з головних причин цього є виділення рослинами кореневих ексудатів, до складу яких входять цукри, амінокислоти, органічні кислоти та інші органічні сполуки. Ці речовини є джерелом енергії та поживних речовин для мікроорганізмів і формують специфічне мікробне середовище навколо кореня.

У ризосфері відбувається складна взаємодія між рослиною, бактеріями, грибами та іншими компонентами ґрунтової біоти. Частина мікроорганізмів є нейтральною або негативною для рослини, тоді як інші забезпечують певні переваги для її росту та розвитку. PGPR належать саме до функціональної групи корисних бактерій, здатних позитивно впливати на рослину [2; 7; 9].

До найбільш досліджених родів PGPR належать Bacillus, Pseudomonas, Azospirillum, Azotobacter та Rhizobium [3; 5; 9]. При цьому механізми дії навіть близьких за властивостями штамів можуть істотно відрізнятися. Тому ефективність бактеріального препарату визначається не тільки видом

мікроорганізму, а й конкретним штамом, його здатністю колонізувати корені та взаємодіяти з певним генотипом рослини.

Важливо розмежовувати поняття ризобактерій і ендофітних бактерій. Ризобактерії переважно асоційовані з кореневою зоною, тоді як ендофіти можуть проникати всередину тканин рослини та існувати там без прояву патогенних властивостей. Водночас одна й та сама бактерія залежно від умов може демонструвати різні типи взаємодії з рослиною.

Здатність PGPR колонізувати кореневу систему є однією з ключових передумов їх ефективності. Бактерія повинна не тільки мати потенційну властивість синтезувати корисні метаболіти, а й виживати в конкретному ґрунтовому середовищі, конкурувати з іншими мікроорганізмами та підтримувати достатню чисельність популяції [3; 11].

Механізми дії PGPR умовно поділяють на прямі та непрямі [2; 3; 8]. Прямий вплив передбачає безпосереднє покращення умов живлення або регуляції росту рослини. До основних механізмів належать біологічна фіксація азоту, мобілізація фосфору, синтез фітогормонів, продукція сидерофорів та ACC-дезамінази.

Азот є одним із найважливіших елементів живлення рослин, оскільки входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу та інших біологічно важливих сполук. Деякі бактерії здатні фіксувати атмосферний молекулярний азот і перетворювати його на форми, які можуть бути включені до біологічного кругообігу. Найбільш відомим прикладом є симбіоз бактерій роду Rhizobium та споріднених ризобій із бобовими культурами.

Взаємодія починається з розпізнавання рослиною бактерії та проникнення мікроорганізмів у кореневі тканини. У результаті формується спеціалізована структура – коренева бульбочка. Саме в ній відбувається інтенсивна фіксація атмосферного азоту за участю ферментного комплексу нітрогенази [4].

Особливістю цього процесу є взаємна вигода. Бактерія отримує від рослини органічні сполуки, які використовує як джерело енергії, а рослина отримує доступ до азоту, зв’язаного в біологічних сполуках. Ефективність симбіозу залежить від генотипу рослини, властивостей бактеріального штаму, температури, кислотності ґрунту, забезпечення вологою та доступності поживних елементів. Надлишок доступного мінерального азоту може зменшувати потребу бобової рослини в симбіотичній фіксації. Тому ефективність інокуляції необхідно розглядати в контексті загального режиму живлення культури.

Фосфор необхідний для енергетичного обміну, синтезу нуклеїнових кислот, мембранних структур і регуляції метаболізму рослин. Значна частина фосфору в ґрунті перебуває у формах, недоступних для безпосереднього поглинання коренями. Деякі PGPR здатні переводити нерозчинні фосфатні сполуки у доступніші форми. Це може відбуватися завдяки синтезу органічних кислот, ферментів та інших метаболітів. У результаті збільшується доступність фосфору в ризосфері [1; 3; 9].

Подібний механізм має важливе біотехнологічне значення, оскільки підвищення ефективності використання вже наявних у ґрунті поживних елементів може зменшити потребу в додатковому внесенні добрив. Бактерії також можуть сприяти забезпеченню рослин залізом. Для цього деякі штами продукують сидерофори – низькомолекулярні сполуки, здатні зв'язувати Fe^{3+}. Це не тільки покращує доступність заліза для рослини, а й може обмежувати його доступність для окремих фітопатогенних мікроорганізмів [3; 8].

Одним із важливих механізмів взаємодії PGPR із рослинами є регуляція гормонального статусу. Бактерії можуть продукувати або впливати на рівень речовин, які змінюють процеси росту та розвитку рослин [3; 9].

Одним із найкраще досліджених бактеріальних фітогормонів є індол-3-оцтова кислота (IAA), яка належить до ауксинів. Бактеріальна продукція IAA може впливати на формування кореневої системи, стимулювати утворення бічних коренів і кореневих волосків. У результаті збільшується площа контакту кореневої системи з ґрунтом, що потенційно сприяє поглинанню води та поживних речовин [3; 5]. Однак дія бактеріальних ауксинів не є однозначною. Ефект залежить від концентрації гормону, виду рослини, фізіологічного стану та конкретного бактеріального штаму. Надмірне утворення ауксинів може не стимулювати, а, навпаки, порушувати нормальний розвиток коренів.

Деякі бактерії також продукують цитокініни та гібереліни. Цитокініни пов'язані з регуляцією поділу клітин і розвитку пагонів, а гібереліни беруть участь у регуляції росту стебла, проростання насіння та інших процесів.

Особливе значення має бактеріальний фермент 1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдезаміназа (ACC-дезаміназа). Він розщеплює ACC – попередник етилену. У стресових умовах надмірне утворення етилену може пригнічувати ріст коренів і пагонів. Бактерії з ACC-дезаміназною активністю здатні зменшувати кількість ACC, завдяки чому знижується стрес-індуковане гальмування росту [3; 6; 14]. Таким чином, ризобактерії не просто «постачають» рослині гормони, а можуть змінювати функціонування її гормональної системи та взаємодію між різними сигнальними шляхами.

Непрямий вплив PGPR полягає переважно у створенні сприятливіших умов для росту рослин та захисті від несприятливих біотичних факторів. Одним із механізмів є біологічний контроль фітопатогенів. Деякі штами Bacillus та Pseudomonas продукують антибіотичні сполуки, ферменти, леткі органічні речовини та сидерофори, які можуть пригнічувати розвиток патогенних мікроорганізмів [8; 10].

Інший механізм – конкуренція за поживні речовини та місця колонізації. Якщо коренева поверхня швидко заселяється корисними бактеріями, патогенним мікроорганізмам може бути складніше закріпитися та розмножуватися.

Важливим механізмом є також індукована системна стійкість (ISR). У цьому випадку бактерія не обов'язково безпосередньо знищує патоген, а стимулює захисну готовність рослини. Після взаємодії з PGPR рослина може швидше та ефективніше реагувати на подальше зараження. У формуванні ISR беруть участь

сигнальні системи, пов’язані, зокрема, з жасмоновою кислотою та етиленом. Такі механізми описані для різних представників Pseudomonas, Bacillus та інших корисних бактерій [3; 8]. Отже, PGPR можуть діяти як своєрідні біологічні регулятори ризосферної екосистеми: вони змінюють мікробне співтовариство, доступність поживних речовин і готовність рослини до захисної відповіді.

Однією з найбільш перспективних сфер застосування PGPR є підвищення стійкості рослин до абіотичних стресів. До них належать посуха, засолення, несприятливі температури, затоплення, дефіцит поживних елементів та токсична дія окремих хімічних елементів [6; 14; 15; 16]. За умов посухи PGPR можуть впливати на архітектуру кореневої системи, сприяти формуванню більшої кількості бічних коренів і кореневих волосків, змінювати гормональний статус та стимулювати накопичення осмопротекторних сполук. Окремі бактерії продукують екзополісахариди, які можуть сприяти утриманню води в мікросередовищі кореня [14; 17].

За засолення ґрунту бактерії можуть сприяти підтриманню мінерального балансу рослини, регулювати поглинання іонів, стимулювати антиоксидантну систему та синтез речовин, пов’язаних із адаптацією до стресу. Дослідження останніх років розглядають солестійкі PGPR як перспективний компонент біологічних технологій відновлення продуктивності рослин на засолених ґрунтах [16].

Важливим результатом взаємодії з PGPR може бути посилення антиоксидантного захисту. Стресові умови призводять до накопичення активних форм кисню, надлишок яких пошкоджує клітинні мембрани, білки та нуклеїнові кислоти. Корисні бактерії можуть стимулювати активність ферментів антиоксидантної системи, зокрема супероксиддисмутази, каталази та пероксидаз [6; 14]. Таким чином, PGPR можуть діяти не на один конкретний симптом стресу, а одночасно впливати на декілька фізіологічних процесів рослини. Саме комплексність дії є однією з головних причин інтересу до мікробних біостимуляторів у сучасному рослинництві.

Найвідомішим прикладом функціонально спеціалізованої взаємодії рослин із бактеріями є симбіоз бобових культур із ризобіями. Після потрапляння бактерій у ризосферу відбувається складний процес хімічного розпізнавання між рослиною та мікроорганізмом. Рослина виділяє кореневі сигнальні сполуки, а бактерії відповідають на них синтезом специфічних молекул, які запускають процес формування кореневої бульбочки. У бульбочці бактерії переходять до спеціалізованого симбіотичного стану. Нітрогеназа каталізує відновлення атмосферного азоту до амоніаку. Процес потребує значної кількості енергії, яку забезпечує рослина [4].

Водночас бобові культури забезпечують бактерії органічними сполуками, що утворюються в процесі фотосинтезу. Таким чином формується взаємовигідна система обміну речовинами. Ефективність симбіозу залежить від багатьох факторів. Несприятливими можуть бути сильна посуха, засолення, екстремальні температури, несприятлива кислотність ґрунту, дефіцит окремих мікроелементів

та інші фактори. Важливе значення має також сумісність конкретного бактеріального штаму з певним сортом або генотипом рослини. Саме тому сучасна біотехнологія розглядає інокуляцію насіння або ґрунту не просто як внесення бактерій, а як цілеспрямоване формування корисної рослинно-мікробної системи.

Томат (Solanum lycopersicum L.) є однією з важливих овочевих культур, тому його часто використовують як модельний об'єкт для дослідження взаємодії рослин із корисними мікроорганізмами. Застосування PGPR для томата може спрямовуватися на стимуляцію проростання насіння, розвиток кореневої системи, покращення мінерального живлення, підвищення стійкості до патогенів та зменшення негативного впливу абіотичних стресів.

У дослідженнях із томатом випробовують різні штами Bacillus, Pseudomonas та інших бактерій. Зокрема, представники роду Bacillus привертають увагу завдяки здатності утворювати спори, що підвищує технологічну стабільність бактеріальних препаратів.

Одним із показників ефективності PGPR є зміна параметрів кореневої системи. За позитивної взаємодії може збільшуватися довжина коренів, площа їхньої поверхні, кількість бічних коренів та кореневих волосків. Це сприяє формуванню більшої зони контакту рослини з ґрунтом.

У контрольованих дослідженнях було показано позитивний вплив окремих штамів Bacillus та Pseudomonas на ріст томата [5]. Водночас результати лабораторних і тепличних експериментів не можна автоматично переносити на польові умови. Ефективність бактерій залежить від властивостей ґрунту, температури, вологості, генотипу рослини та складу природної мікробіоти. Тому для створення ефективного біопрепарату необхідно не тільки встановити наявність у бактерії певної корисної властивості, а й оцінити її здатність колонізувати корені та зберігати активність за реальних умов вирощування [3; 11].

З погляду сільськогосподарської біотехнології PGPR можуть використовуватися як основа для створення мікробних біодобрив, біостимуляторів і біологічних засобів захисту рослин [7; 12]. Технологічна схема отримання бактеріального препарату передбачає декілька етапів: відбору перспективного штаму, його ідентифікації, оцінювання корисних властивостей, оптимізації умов культивування, отримання бактеріальної біомаси, формування препаративної форми та перевірки ефективності. Для відбору штамів можуть визначати здатність продукувати IAA, солюбілізувати фосфати, синтезувати сидерофори, фіксувати азот, продукувати ACC-дезаміназу та пригнічувати фітопатогенні мікроорганізми.

Перспективним напрямом є створення бактеріальних консорціумів, до складу яких входять декілька сумісних штамів [10]. Перевагою такого підходу може бути поєднання різних функцій: наприклад, один штам ефективніше мобілізує фосфор, інший продукує фітогормони, а третій має виражені антагоністичні властивості щодо патогенів. Сучасні дослідження також

звертають увагу на оптимізацію формуляцій, інкапсуляцію та способи підвищення виживання бактерій після внесення в ґрунт. PGPR можуть застосовуватися різними способами: для передпосівної обробки насіння, обробки розсади, внесення у ґрунт або нанесення на кореневу систему. Вибір способу залежить від властивостей препарату та культури. Однак використання ризобактерій не слід розглядати як автоматичну повну заміну мінеральних добрив або засобів захисту рослин. Раціональнішим є їх включення до інтегрованих систем вирощування, де біологічні препарати поєднуються з агротехнічними та іншими методами [3; 12].

Попри значну кількість позитивних результатів, практичне використання PGPR має певні обмеження. По-перше, ефективність одного і того самого штаму може істотно змінюватися залежно від умов середовища. Бактерія, яка демонструє високі показники стимуляції росту в лабораторному досліді, може бути менш ефективною в польових умовах. По-друге, внесений мікроорганізм повинен конкурувати з природною ґрунтовою мікробіотою. Якщо він не здатний успішно колонізувати кореневу систему, позитивний ефект може бути короткочасним. По-третє, важливе значення має взаємодія між конкретним бактеріальним штамом і генотипом рослини. Тому універсального бактеріального препарату, однаково ефективного для всіх культур та умов, очікувати складно [3; 11; 13].

Перспективним напрямом є використання сучасних методів геноміки, метагеноміки, транскриптоміки та метаболоміки для вивчення взаємодії «рослина-мікроорганізм-ґрунт». Такі підходи дають змогу визначати функціональні властивості мікробних угруповань і здійснювати більш цілеспрямований відбір ефективних штамів.

Окреме значення має створення стабільних бактеріальних консорціумів та вдосконалення формуляцій препаратів. Дослідження останніх років демонструють тенденцію до переходу від використання окремих штамів до багатокомпонентних мікробних систем, здатних виконувати декілька функцій одночасно [10]. У перспективі PGPR можуть стати одним із компонентів адаптації рослинництва до зміни клімату. Особливо актуальним є використання бактерій, здатних підтримувати ріст рослин за дефіциту води, засолення та інших стресових умов [6; 14; 18].

Висновки.

Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR), є перспективним біотехнологічним інструментом сучасного сільського господарства. Вони покращують мінеральне живлення, регулюють ріст рослин, сприяють біологічній фіксації азоту, мобілізації фосфору та підвищують стійкість до біотичних і абіотичних стресів [2; 3; 7].

Перспективним є застосування PGPR для овочевих культур, зокрема томата, оскільки окремі штами Bacillus, Pseudomonas, Azospirillum та Azotobacter здатні стимулювати розвиток кореневої системи та покращувати ріст рослин [5].

Ефективність ризобактерій залежить від властивостей штаму, генотипу рослини та умов вирощування. Тому подальші дослідження мають бути спрямовані на відбір ефективних штамів, створення стабільних мікробних препаратів і їх практичне застосування в екологічно орієнтованих технологіях рослинництва [3; 11; 13].

Список використаних джерел

1. Rhode O. Plant growth promoting rhizobacteria – key to making soil more accessible to crops. Grain SA. 2017. URL: https://www.grainsa.co.za/plant-growth-promoting-rhizobacteria-key-to-making-soil-more-accessible-to-crops
2. Mishra I., Nath P., Joshi N., Joshi B. D. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Role, Applications, and Biotechnology. In: Biotechnology in Environmental Remediation / ed. by J. Singh, R. Bajpai, R. K. Gangwar. Weinheim : Wiley-VCH, 2023. P. 89–113. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9783527839063.ch6
3. Backer R., Rokem J. S., Ilangumaran G., Lamont J., Praslickova D., Ricci E., Subramanian S., Smith D. L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Article 1473. DOI: 10.3389/fpls.2018.01473. URL: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01473/full
4. Plant-Rhizobia Relationship. Crop Science US. 2024. URL: https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/plant-rhizobia-relationship
5. Hernández-Amador E., Montesdeoca-Flores D. T., Abreu-Acosta N., Luis-Jorge J. C. Effects of Rhizobacteria Strains on Plant Growth Promotion in Tomatoes (Solanum lycopersicum). Plants. 2024. Vol. 13, No. 23. Article 3280. DOI: 10.3390/plants13233280. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11644663/
6. Song X.-P., Yan M.-X., Liang Q., Zhang X.-Q., Li C.-N., Malviya M. K., Sharma A., Khan Q., Guo D.-J., Li Y.-X., Verma K. K., Li Y.-R. Recent advances in employing plant rhizobacteria for environmental stress mitigation in plants. Plant Stress. 2025. Vol. 17. Article 100947. DOI: 10.1016/j.stress.2025.100947. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X25002155
7. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): an overview for sustainable agriculture and development. Rhizobiome: Ecology, Management and Application. 2023. P. 95–125.
8. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as biological control agents in sustainable agriculture. Sustainable Agricultural Practices. 2024. P. 145–159.
9. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as a Plant Growth Enhancer for Sustainable Agriculture: A Review. Bacteria. 2024. Vol. 3, No. 2. P. 59–75.
10. Enhancing plant growth promoting rhizobacterial activities through consortium exposure: a review. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023.
11. Rhizosphere competence and applications of plant growth-promoting rhizobacteria in food production – A review. Scientific African. 2024. Vol. 23. e02081.

12. Plant growth-promoting bacteria as a sustainable agricultural strategy. New Insights, Trends, and Challenges in the Development and Applications of Microbial Inoculants in Agriculture. 2024. P. 37–50.
13. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agriculture: recent progress and challenges. Advances in Pollution Research. 2024. P. 333–342.
14. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria alleviate drought stress and enhance soil health for sustainable agriculture: A comprehensive review. Plant Stress. 2024. Vol. 14. 100632.
15. The role of drought response genes and plant growth promoting bacteria on plant growth promotion under sustainable agriculture: A review. Microbiological Research. 2024. Vol. 286. 127827.
16. Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria improve soil fertility and plant salinity tolerance for sustainable agriculture – A review. Plant Stress. 2024. Vol. 12. 100482.
17. Recent advances of plant growth-promoting rhizobacteria-mediated drought and waterlogging stress tolerance in plants for sustainable agriculture. Microbial Biostimulants for Plant Growth and Abiotic Stress Amelioration. 2024. P. 315–344.
18. From soil stress to sustainable solutions: A bibliometric and systematic review of plant growth promoting rhizobacteria in climate-resilient agriculture. 2025.

Section: Architecture and Construction

UDC 624.014.2:620.179

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.004.50-54

STEEL-INSPECT AS A TOOL FOR COMPUTATIONAL SUPPORT OF THE INSPECTION OF INDUSTRIAL STEEL STRUCTURES

Davydov Ihor
PhD (Engineering), Associate Professor
Department of Structural Mechanics and Metal Structures
Educational and Research Institute "Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Ukrainian State University of Science and Technologies, Ukraine

Abstract. The paper considers the use of the STEEL-INSPECT software for computational support during the inspection of existing industrial steel frames. The digital model of the frame is set up before the site visit, refined with measured data and recalculated with the actual cross-sections, defects and steel properties. The software computes internal forces including second-order effects, performs strength, overall stability and local stability checks and reports utilisation ratios; the force analysis is cross-checked in SCAD Office 23.1. Using records from the inspection of a production and test building served by two 80/20 t overhead cranes, it is shown that stability and local strength checks govern, and that correcting the steel grade of the crane girder web almost halves the design reserve.

Keywords: steel structures, industrial building, inspection, technical condition, structural model, load-bearing capacity, stability, steel identification, STEEL-INSPECT, SCAD Office.

Introduction

The technical condition of existing steel structures is assessed by combining field inspection with verification analysis. DSTU 9273:2024 requires the inspection to provide data sufficient to determine and assess the condition of a building [1], and DSTU B V.2.6-210:2016 specifies these procedures for steel structures [2]. After decades of service the actual structural scheme of a building may differ considerably from the design one. The reasons include corrosion losses, member deformations, damaged joints and bracing, reconstruction, changed process loads and replaced equipment. Buildings hit by missile strikes also have local failures of load-bearing members with force redistribution in the frame [3-5].

The accuracy of a verification analysis is limited primarily by the reliability of the input data and of the adopted structural scheme [6]. For this reason the analysis should

accompany the whole inspection rather than be left to its end. A preliminary digital model [7] shows which parameters affect the result most. Once measured, these parameters replace the assumed values and the analysis is repeated. This requires a tool that keeps the input data traceable and automates repetitive code checks [8].

Aim and objectives of the study

The aim is to develop a procedure for using STEEL-INSPECT in the computational support of inspections of existing industrial steel structures, from the preliminary analysis to the verification of the model against field data. The objectives are to define the place of the preliminary analysis in the inspection programme, the order in which the model is updated with field data, the indicators for comparing results and the means of keeping them reproducible, and to check on real inspection records which parameters of a building control the governing code checks.

Results and discussion

STEEL-INSPECT v1.0.0 [9] is built on the verified calculation core BOOK-CALC FRAME 3.28.1-R11-BI1. It computes the frame response, internal forces and their design envelopes with second-order effects and equivalent geometric imperfections, and checks stepped columns and the local stability of cross-section elements to DBN V.2.6-198:2014 [10, 11].

At the first stage a base model is built from the available documentation: frame geometry, cross-sections, steel properties [11], loads, member restraints and the bracing system. If tests reveal an atypical asymmetry of steel properties in tension and compression, it is treated separately in the updated model [12].

At the second stage a preliminary verification analysis is performed. For each member the internal forces and the partial utilisation ratios for the relevant code checks are found. The overall utilisation ratio of the i-th member is the largest of them:

$$K_i = \max(\eta_{i1}, \eta_{i2}, \ldots, \eta_{in}) \quad (1)$$

where η_{ij} is the utilisation ratio for the j-th code check. The ratio K_i is not a condition category and does not replace the engineer's judgement; it shows which check controls the reserve or deficit of load-bearing capacity.

At the third stage the preliminary results are used to adjust the programme of instrumental measurements. Priority goes to parameters whose error can change the outcome of the governing check: web and flange thickness after corrosion, column out-of-straightness, bearing conditions, effective lengths of compression members, the condition of bracing and joints [13], and process loads.

The output of this stage is a list of members ranked by K_i and by the sensitivity of the governing check. Members with K_i close to unity and high sensitivity are inspected first.

At the fourth stage the assumed parameters are replaced with measured values, and the effect of the update is expressed as the change in the utilisation ratio:

$$\Delta K_i = K_{i,fact} - K_{i,pre} \quad (2)$$

where $K_{i,pre}$ is the preliminary result and $K_{i,fact}$ is the result for the model updated with field data. A positive ΔK_i means that the reserve has decreased; a large absolute value of ΔK_i indicates that the conclusion is sensitive to the updated parameters.

Besides the value of K_i, the governing check itself may change. For example, once the actual geometry or corrosion loss is taken into account, overall or local stability may replace strength as the governing check, which means the member now fails by a different mechanism.

The procedure was tested on a single-storey industrial steel frame with an 18 m span, 6 m frame spacing and a 10 t overhead crane. Internal forces and the response of the system were compared with a spatial finite element model in SCAD Office 23.1. The spatial model verifies the global scheme and the force analysis, while STEEL-INSPECT performs the repeated code checks with parameters that change as the inspection proceeds.

Inspection records of a production and test building designed in 1979-1981 were analysed retrospectively. Its 30 m span is served by two 80/20 t overhead cranes, with the rail top at +36.000 and the truss bottom chord at +40.500. The columns are stepped, with a laced crane part and a leg spacing of 1.75-2.0 m; in part of the span the column legs are cast up to +30.000 into the 2 m thick reinforced concrete walls of a test bay. Only part of the design documentation has survived, and no process load data were provided. The verification analysis was linear and was run in SCAD Office. The governing checks for the main members are given in Table 1.

Table 1 - Governing checks of the frame members of the inspected building

Member	**Governing check**	**K_i**	**Inspection parameter that controls the result**
Columns K1, K3, crane part	Out-of-plane stability under eccentric compression	0.607	Out-of-plane effective length: the actual bracing layout differs from the design
Columns K2, K2a of the built-in rooms	Out-of-plane stability under eccentric compression	0.860	Effective length, lateral restraint by floor beams
Floor beams B1-B5	Lateral-torsional buckling	0.792	Actual restraint of the compression flange
Crane girders	Local web strength under the wheel load	0.800	Web steel grade (C255), rail position, bearing shims up to 200 mm
Crane girders	Fatigue	0.730	Number of load cycles, no service load history
Trusses FS2, end diagonal	Out-of-plane stability	0.507	Steel grade (C245), bowing of web members

*compiled by the author from the inspection report

For every member in Table 1 the governing check is stability, local web strength or fatigue rather than cross-section strength. These checks depend on parameters that are either missing from the surviving documentation or have changed in service: effective lengths set by the actual bracing layout, and the steel grade of individual plates. Under the procedure described, these are the first parameters to be measured. Since stability governs for columns more than 43 m high, a second-order reanalysis is needed not only after the cross-sections are updated but also after the bracing layout is confirmed.

Steel identification by surface hardness showed that the crane girder flanges are made of C345 steel (R_y = 315 MPa) and the webs of C255 steel (R_y = 240 MPa). Trusses FS1 and FS2 of the same span also differ: FS1 has chords and end diagonals of C345, whereas all FS2 members are C245. If the preliminary model assigns the flange steel to the whole girder, then for the local web check, which is linear in R_y, $K_{i,pre} = 0.80 \cdot 240/315 \approx 0.61$ and $\Delta K_i = +0.19$. The governing check stays the same, but the reserve drops almost by half, from 0.39 to 0.20.

The way the measurements are processed also matters. For the column flanges the sample mean tensile strength is 604 MPa, while the characteristic value after statistical processing is 471 MPa with a coefficient of variation of 0.096. The mean would identify the steel as C390 or higher and the characteristic value as C345, a difference in R_y of more than 25 %. The rule used to derive the design strength from the sample is therefore stored together with the other input data of the model.

To keep results reproducible, STEEL-INSPECT records the core version together with the set of modules used, and the release archive contains test cases and file checksums. A change in the result caused by updated building data can thus be told apart from a change caused by a software update.

The software does not assign the condition category. The model cannot reliably reproduce damaged joints, contact conditions at column bases [14] or hidden defects. In the building considered these include missing and loose bolts at the truss top chord connections, shims up to 200 mm under crane girder bearings caused by uneven settlement, and a bracing strut sagging by up to 100 mm. Such defects set the priority repairs and the scope of further inspection, and the final decision rests with the engineer.

Conclusions

1. STEEL-INSPECT organises the computational support of an inspection as successive updates of a single model: the preliminary analysis tells what to measure, and the measurements go back into the model as actual data.

2. Comparing utilisation ratios before and after the update, together with tracking changes in the governing check, quantifies how the actual condition affects load-bearing capacity.

3. In the building examined, stability and local strength checks govern, and their results depend on the bracing layout and on the steel grade of individual plates; updating the crane girder web steel grade gives $\Delta K_i = +0.19$.

4. Cross-checking against the SCAD Office 23.1 model and fixing the core version make the results verifiable and reproducible.

References

1. DSTU 9273:2024. Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability. Kyiv: SE “UkrNDNC”, 2024. [in Ukrainian]

2. DSTU B V.2.6-210:2016. Assessment of the technical condition of steel building structures in service. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. [in Ukrainian]

3. Davydov I. I., Chaban V. P., Kovtun-Horbachova T. A., Kovtun K. A. Analysis of the resistance of buildings with different structural systems to progressive collapse caused by missile strikes. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture. 2025. No. 6 (030). P. 65-76. DOI: 10.30838/UJCEA.2312.241225.65.1210. [in Ukrainian]
4. Davydov I. I., Chaban V. P., Kovtun-Horbachova T. A., Kovtun K. A. Analysis of the influence of dynamic characteristics on the development of progressive collapse of building structures. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture. 2026. No. 1 (031). P. 55-62. DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.55.1209. [in Ukrainian]
5. Davydov I. I., Kovtun K. A., Chaban V. P. Energy criteria for assessing the resistance of buildings to progressive collapse of structures. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture. 2026. No. 4 (034). P. 53-64. DOI: 10.30838/UJCEA.0434.270526.53.1258. [in Ukrainian]
6. Radkevych A. V., Davydov I. I., Chaban V. P., Kovtun K. A. Analysis of progressive collapse design methods for single-storey framed industrial buildings and ways to improve calculation accuracy. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture. 2024. No. 1 (019). P. 122-129. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.122.1032. [in Ukrainian]
7. Bolotov M. H., Hanieiev T. R., Davydov I. I. et al. Modern approaches to the design, analysis and evaluation of building systems using BIM technologies: practical manual / ed. by Yu. V. Bulhakova, N. S. Chernova. Dnipro: USUST, 2025. 240 p.
8. Davydov I. I. Artificial intelligence in tasks of teaching students calculations and design of metal structures. Artificial Intelligence. 2024. № 3 (100). P. 88-93. DOI: 10.15407/jai2024.03.088.
9. Davydov I. I. STEEL-INSPECT: model-guided field inspection planning for existing industrial steel frames. Version 1.0.0 [Computer software]. Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.22060057.
10. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design standards. With Amendment No. 1. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. [in Ukrainian]
11. Radkevych A. V., Kovtun-Horbachova T. A., Davydov I. I., Ivchenko Yu. V., Kovtun K. A. Metal structures: materials, rolled sections, connections and limit state design (beams and columns): study guide. Dnipro: USUST, 2026. 299 p. [in Ukrainian]
12. Davydov I. I., Pogrebnyak N. A. Emergence of normal strains under pure shear in materials with asymmetric tension-compression properties. SWorldJournal. 2026. No. 36-02. P. 201-217. DOI: 10.30888/2663-5712.2026-36-02-046.
13. Radkevych A. V., Davydov I. I., Kovtun-Horbachova T. A. Fabrication technology of metal structures: study guide. Dnipro: USUST, 2025. 209 p. DOI: 10.15802/978-617-8314-80-4. [in Ukrainian]
14. Davydov I., Covtun-Gorbachova T., Vershkova Yu., Volchok D., Chaban V. Modeling of progressive dynamic failures in frame structural systems with complex dissipative behavior considering localized contact interactions. Journal of Physics: Conference Series. 2026. Vol. 3251. 012042. DOI: 10.1088/1742-6596/3251/1/012042.

Section: Automation and Robotics

ВИКОРИСТАННЯ БІОНІЧНИХ РОБОТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Суботін Олег
к.т.н., доцент
Новіков Дмитро
аспірант
Кафедра «Автоматизація виробничих процесів»
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна
Новікова Наталія
викладач-методист
ЦК загальноосвітніх дисциплін та природничо-наукової підготовки
Відокремлений структурний підрозділ
«Донбаський аграрний фаховий коледж
Східноукраїнського національного університету ім. Даля»
Пасько Марина Миколаївна
викладач вищої категорії
ВСП «Маріупольський політехнічний фаховий коледж»
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Анотація. У статті розглянуто перспективи використання біонічних роботів для моніторингу стану довкілля. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю постійного спостереження за природними екосистемами, своєчасного виявлення забруднення води, повітря та ґрунтів, контролю змін біорізноманіття, а також потребою здійснення досліджень у важкодоступних або небезпечних для людини середовищах. Проаналізовано основні напрями застосування біонічних роботів у екологічному моніторингу: дослідження водних екосистем, контроль якості води, моніторинг стану морських і прибережних територій, спостереження за біорізноманіттям, виявлення джерел забруднення та проведення досліджень у небезпечних зонах. Визначено переваги біонічних роботів порівняно з традиційними роботизованими платформами, а також основні технічні обмеження, пов’язані з автономністю, енергоспоживанням, передаванням даних, надійністю сенсорів та необхідністю адаптивного керування. Обґрунтовано перспективність поєднання біонічної конструкції, сенсорних технологій, штучного інтелекту та автономної навігації для створення нового покоління екологічних роботизованих систем.

Ключові слова: робототехніка, біонічні роботи, біороботи, біоміметика, екологічний моніторинг, довкілля, роботизовані системи, сенсори, штучний інтелект, автономні роботи.

Введення. Сучасний стан природного середовища характеризується значною кількістю антропогенних і природних факторів, які впливають на функціонування екосистем. Забруднення атмосферного повітря, водойм і ґрунтів, скорочення біорізноманіття, зміна температурного режиму, деградація природних територій та інші екологічні процеси потребують систематичного спостереження. Ефективний екологічний моніторинг передбачає отримання достовірної інформації про стан природних компонентів, виявлення негативних тенденцій та оперативне реагування на зміни.

Одним із перспективних напрямів розв'язання зазначеної проблеми є застосування роботизованих систем. У сучасних дослідженнях дедалі більша увага приділяється роботам, призначеним для екологічного моніторингу та оцінювання біорізноманіття. Систематичний огляд [1, с. 7] показав швидке зростання кількості роботизованих платформ, які використовуються для моніторингу різних видів і екологічних угруповань. Особливе місце серед таких систем займають біонічні роботи. Їх конструкція, спосіб пересування, сенсорні системи або алгоритми керування частково ґрунтуються на принципах функціонування живих організмів. Біоміметичний підхід дає можливість використовувати результати природної еволюції для вирішення інженерних завдань [2, с. 25]. Таким чином, поєднання робототехніки, біоміметики, сенсорних технологій та методів штучного інтелекту формує перспективний напрям створення автономних систем для спостереження за довкіллям.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення можливостей та перспектив використання біонічних роботів для моніторингу довкілля, а також аналіз їх функціональних характеристик, сфер застосування, переваг і технічних обмежень. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі: проаналізувати поняття біонічного робота та особливості біоміметичного підходу в робототехніці; визначити основні напрями використання біонічних роботів у системах екологічного моніторингу; охарактеризувати сенсорні системи, які можуть застосовуватися для збору екологічних даних; проаналізувати переваги та обмеження використання біонічних роботів у природному середовищі; визначити перспективи інтеграції біонічної робототехніки зі штучним інтелектом, автономною навігацією та системами обробки даних.

Результати дослідження та їх обговорення. Біонічний робот — це роботизована система, конструктивні або функціональні характеристики якої створені з використанням принципів, запозичених у живих організмів.

Одним із найперспективніших напрямів є використання біонічних підводних роботів. Сучасні дослідження розглядають конструкції, що імітують риб, скатів, восьминогів та інших водних організмів. Їхні переваги можуть проявлятися у високій маневреності, здатності здійснювати рух у складних умовах та можливості використовувати альтернативні принципи створення тяги. Огляд [1, с. 7] показує, що розвиток підводних біонічних роботів охоплює різні типи конструкцій, матеріалів, способів руху та систем керування.

Сучасна тенденція полягає також у переході від жорстких конструкцій до м'якої робототехніки. У роботах цього типу використовуються гнучкі матеріали та приводи, які дають можливість імітувати деформацію тіла живих організмів. Дослідження [2, с. 25] виділяє серед ключових біологічних принципів підводної м'якої робототехніки рух, гнучку морфологію, розподілене сенсорне сприйняття та адаптивне керування.

Однією з найважливіших сфер застосування біонічних роботів є моніторинг річок, озер, водосховищ, морів та океанів. Водні екосистеми потребують постійного контролю через можливість накопичення забруднювальних речовин, зміни температури, кислотності, солоності та концентрації розчиненого кисню. Біонічний робот у вигляді риби може переміщуватися у товщі води та здійснювати вимірювання без необхідності постійного буксирування або використання традиційного гвинтового рушія.

Принципова структура системи екологічного моніторингу на основі біонічного робота може бути представлена як послідовність: сенсори → мікроконтролер → обробка даних → навігація → накопичення/передавання інформації → аналітична система. У такій системі робот одночасно виконує функції мобільної сенсорної платформи. Він може переміщуватися між контрольними точками, автоматично фіксувати значення параметрів і передавати інформацію на наземну станцію.

Особливо перспективним є використання декількох роботів одночасно. Група невеликих біонічних роботів може охоплювати більшу територію, ніж один великий апарат. При цьому кожен робот може збирати локальні дані, а загальна система — формувати просторову картину стану водойми. Огляд [4, с. 15-19]. засвідчує значний інтерес до біоінспірованих водних автономних систем, оскільки біологічні способи пересування можуть бути адаптовані до різних завдань підводної робототехніки.

Біонічні роботи можуть використовуватися не тільки для регулярного вимірювання параметрів середовища, а й для пошуку локальних джерел забруднення. Наприклад, роботизована система може здійснювати переміщення вздовж річки та визначати ділянки, де концентрація певної речовини перевищує встановлений рівень. Особливо важливою є можливість роботи в умовах, небезпечних для людини.

Перспективним є поєднання біонічного робота з алгоритмами машинного навчання. На основі попередньо отриманих даних система може навчатися розпізнавати характерні просторові або часові закономірності забруднення. Це дозволяє перейти від простого збору даних до інтелектуального моніторингу.

Ще одним важливим напрямом є спостереження за живими організмами та оцінювання стану біорізноманіття. Перевага біонічних конструкцій у цьому випадку полягає у можливості зменшити вплив самого робота на досліджуване середовище. У сучасних робототехнічних системах камери можуть поєднуватися з алгоритмами комп'ютерного зору для автоматичного виявлення та класифікації об'єктів. Це відкриває можливість автоматизованого підрахунку окремих видів,

визначення їхньої чисельності та спостереження за змінами популяцій. Систематичний огляд [5] показує, що роботи вже використовуються в екологічному моніторингу широкого спектра видів та угруповань, а подальший розвиток цього напряму значною мірою пов'язаний з автономністю та адаптивністю роботизованих систем.

Ефективність екологічного робота значною мірою визначається не лише його конструкцією, а й можливостями сенсорної системи. Біоміметика може застосовуватися і в розробленні сенсорів. Сучасні біонічні системи поступово переходять від окремих сенсорів до розподілених сенсорних мереж. У м'якій підводній робототехніці особливий інтерес становлять системи, які поєднують гнучкі конструкції, розподілене сприйняття та адаптивне керування [2, с. 25].

Аналіз наукових досліджень дозволяє визначити декілька основних переваг біонічних роботів для екологічного моніторингу. Насамперед це адаптивність до природного середовища. Біологічні організми протягом еволюції сформували ефективні способи пересування та взаємодії з навколишнім середовищем, тому їхні принципи можуть бути використані під час створення роботизованих платформ. Другою перевагою є можливість роботи у важкодоступних середовищах. Робот може здійснювати тривалі автономні спостереження без безпосередньої присутності людини. Третьою перевагою є можливість комплексного використання сенсорів. Робот може одночасно вимірювати декілька параметрів та передавати дані в єдину інформаційну систему. Водночас використання біонічних роботів має низку обмежень. До них належать обмежена тривалість автономної роботи, необхідність ефективного енергозабезпечення, складність керування, вплив зовнішніх умов на сенсори, проблеми зв'язку під водою, складність обробки великих обсягів даних та висока вартість створення спеціалізованих платформ.

Для підводних роботів особливо важливими залишаються питання гідродинаміки, матеріалів, енергоефективності, зв'язку та систем керування. Сучасний огляд [3, с. 204] визначає саме ці напрями як ключові технічні виклики подальшого розвитку біоінспірованих підводних роботів. Окремою проблемою є необхідність забезпечення мінімального впливу робота на природне середовище. Екологічний робот не повинен сам ставати джерелом забруднення або порушення поведінки тварин.

Подальший розвиток біонічних роботів для моніторингу довкілля пов'язаний із комплексною інтеграцією декількох технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є поєднання біоміметичної конструкції, штучного інтелекту, комп'ютерного зору, автономної навігації та хмарної обробки даних. Ще одним перспективним напрямом є створення груп автономних роботів. Замість одного складного апарата може використовуватися сукупність невеликих роботів, кожен з яких виконує певну функцію. Такий підхід дозволяє підвищити масштабованість системи, забезпечити резервування та зменшити наслідки виходу окремого робота з ладу. Важливим завданням залишається розроблення універсальних платформ, які можна адаптувати до

різних типів екологічних досліджень шляхом заміни сенсорних модулів та програмного забезпечення. Це дозволить використовувати одну роботизовану платформу для моніторингу якості води, спостереження за біорізноманіттям, пошуку забруднення та картографування природних територій.

Висновки. Проведене дослідження показало, що біонічні роботи є перспективним інструментом сучасного екологічного моніторингу. Використання принципів біоміметики дозволяє створювати роботизовані системи, здатні ефективно переміщуватися у складному природному середовищі, адаптуватися до його змін та виконувати тривалі автономні спостереження. Найбільш перспективним напрямом є використання біонічних підводних роботів для моніторингу річок, озер, морів та інших водних екосистем. Біонічні роботи також можуть застосовуватися для виявлення джерел забруднення, моніторингу біорізноманіття, дослідження важкодоступних територій та проведення спостережень у потенційно небезпечних для людини умовах. Отже, перспективи розвитку біонічної робототехніки для екологічного моніторингу визначаються не лише вдосконаленням конструкції роботів, а й інтеграцією біоміметичних принципів із технологіями штучного інтелекту, машинного навчання, комп'ютерного зору, автономної навігації та розподілених сенсорних мереж.

Список використаних джерел

1. Cui, Z., Li, L., Wang, Y., Zhong, Z., & Li, J. (2023). Review of research and control technology of underwater bionic robots. Intelligent Marine Technology and Systems, 1, 7.
2. Li, L., Qin, B., Gao, W., Li, Y., Zhang, Y., Wang, B., Kong, S., Wang, J., He, D., & Yu, J. (2026). Bioinspired underwater soft robots: From biology to robotics and back. npj Robotics, 4, 25.
3. Muchhala, D., Maurya, P. K., Raut, A., Raj, S., Prabhudesai, S., & Mehra, P. (2026). Bioinspired underwater robotics: Advances across the materials, design, control, and applications. Robotics and Autonomous Systems, 204, 105551.
4. Prakash, A., Nair, A. R., Arunav, H., P. R., R., Akhil, V. M., Tawk, C., & Shankar, K. V. (2024). Bioinspiration and biomimetics in marine robotics: A review on current applications and future trends. Bioinspiration & Biomimetics, 19(3).
5. Qin, H., Liu, X., Xue, Y., Chen, Y., & Zhu, Z. (2026). Review of hybrid aerial-aquatic vehicles: Bio-inspired design and drone-UUV integration for cross-domain locomotion characteristic. Journal of Marine Science and Application.

Section: Biology and Microbiology

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОДОБРИВ ІЗ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Юношева Марія
здобувачка вищої освіти
Науковий керівник:
Люта Ірина
асистентка
Кафедра біотехнології та біоінженерії
https://orcid.org/0000-0002-1672-2337
Миколаївський національний аграрний університет, Україна

Анотація: У статті розглянуто сучасні біотехнологічні методи переробки органічних відходів із метою отримання продуктів органічного удобрення. Проаналізовано можливості використання гною, пташиного посліду, рослинних решток, харчових відходів та інших органічних матеріалів як вторинної сировини. Охарактеризовано основні технології біоконверсії органічних відходів, зокрема аеробне компостування, застосування мікробних інокулянтів, вермикомпостування та анаеробне зброджування. Визначено роль мікроорганізмів і спеціалізованих організмів у трансформації органічної речовини та формуванні стабілізованих продуктів, придатних для використання у рослинництві.

Розглянуто агрономічне та екологічне значення отриманих продуктів, зокрема можливість повернення поживних елементів у ґрунт, зменшення обсягів органічних відходів і часткової заміни мінеральних добрив.

Окреслено основні обмеження технологій, пов’язані зі складом вихідної сировини, контролем патогенних мікроорганізмів, потенційно небезпечних речовин та якістю кінцевого продукту.

Обґрунтовано перспективність подальшого вдосконалення біотехнологічних способів переробки органічних відходів для розвитку ресурсоефективного та екологічно орієнтованого сільського господарства.

Ключові слова: біодобрива, органічні відходи, біоконверсія, компостування, дигестат, органічне землеробство.

Вступ. Раціональне використання органічних відходів є одним із важливих напрямів розвитку сучасного сільського господарства та біотехнології. Значні обсяги органічних відходів утворюються в сільськогосподарському виробництві, харчовій промисловості, тваринництві, птахівництві та комунальному господарстві. До них належать гній, пташиний послід, солома, рослинні рештки, відходи переробки сільськогосподарської продукції, харчові відходи, тирса, опале листя та інші органічні матеріали. За відсутності належної системи

переробки накопичення таких відходів може створювати санітарні та екологічні проблеми, зокрема сприяти забрудненню ґрунтів і водних ресурсів та утворенню парникових газів [2; 3].

Водночас органічні відходи містять значну кількість органічної речовини та поживних елементів, зокрема азоту, фосфору, калію, кальцію та магнію. Тому їх можна розглядати не лише як відходи, а і як цінну вторинну сировину для отримання продуктів органічного удобрення [11; 12]. Біотехнологічні методи дають можливість керовано перетворювати органічну сировину на стабілізовані продукти, придатні для використання у рослинництві.

Важливим напрямом є також застосування мікроорганізмів, які беруть участь у розкладанні складних органічних сполук, мінералізації поживних речовин та утворенні гумусоподібних сполук. До перспективних технологій належать аеробне компостування, компостування із застосуванням мікробних інокулянтів, вермикомпостування та анаеробне зброджування з отриманням дигестату.

Застосування таких технологій відповідає принципам циркулярної економіки, оскільки дозволяє повертати органічну речовину та поживні елементи у виробничий цикл, одночасно зменшуючи обсяги відходів, що підлягають захороненню.

Мета роботи – проаналізувати сучасні біотехнологічні методи переробки органічних відходів із отриманням продуктів органічного удобрення, визначити їх технологічні особливості, переваги, обмеження та екологічне значення.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- охарактеризувати основні види органічних відходів як сировини для отримання біодобрив;
- розглянути принципи аеробного компостування;
- проаналізувати можливості використання мікробних інокулянтів для прискорення біоконверсії органічної сировини;
- охарактеризувати вермикомпостування як біотехнологічний спосіб переробки органічних відходів;
- розглянути анаеробне зброджування та використання дигестату;
- визначити екологічні й агрономічні переваги та основні обмеження отриманих продуктів.

Органічні відходи мають різний хімічний склад та фізичні властивості, що визначає можливість їх використання у конкретних біотехнологічних процесах. Гній великої рогатої худоби, свиней та інших сільськогосподарських тварин є джерелом органічної речовини, азоту, фосфору та калію [14]. Пташиний послід характеризується відносно високим вмістом азоту та фосфору, тому його використання потребує контролю дозування та технологічної підготовки.

Рослинні рештки, солома, листя, стебла та відходи переробки рослинної сировини містять значну кількість целюлози, геміцелюлози та лігніну. Саме тому їх розкладання може відбуватися повільно, а для прискорення процесу доцільним

є використання мікроорганізмів, здатних продукувати целюлолітичні та лігнінолітичні ферменти.

Харчові відходи характеризуються значним вмістом легко розкладних органічних сполук, тому вони швидко піддаються мікробній біоконверсії. Водночас високий вміст вологи та азоту може призводити до утворення неприємних запахів і втрат азоту, якщо технологічні параметри процесу не контролюються.

Таким чином, перед біотехнологічною переробкою органічної сировини необхідно враховувати її вологість, співвідношення вуглецю до азоту, структуру, кислотність, вміст поживних речовин та можливу наявність забруднювачів.

Одним із найбільш поширених методів біологічної переробки органічних відходів є аеробне компостування [2; 3]. Воно являє собою контрольований процес біологічного розкладання органічної речовини за участю мікроорганізмів та за наявності кисню. У процесі компостування беруть участь бактерії, актиноміцети та гриби. Вони використовують органічні сполуки як джерело вуглецю та енергії. У результаті відбувається поступове розкладання вуглеводів, білків, ліпідів та інших органічних компонентів.

Процес компостування умовно поділяють на кілька фаз. На початковій мезофільній фазі активність мікроорганізмів супроводжується підвищенням температури. Надалі формується термофільна фаза, під час якої температура може підвищуватися до рівня, за якого пригнічується значна частина патогенних мікроорганізмів та насіння бур'янів. Після зниження температури відбувається фаза дозрівання компосту, під час якої органічна речовина стабілізується та формуються більш стійкі гумусоподібні сполуки.

Важливими параметрами компостування є температура, вологість, доступ кисню, співвідношення C:N, кислотність та структура субстрату. Недостатня аерація може призвести до переходу процесу в анаеробний режим, утворення неприємних запахів та небажаних продуктів метаболізму. Надмірне пересихання субстрату, навпаки, пригнічує мікробіологічну активність.

Перевагою компостування є відносна технологічна простота та можливість використання широкого спектра органічної сировини. Отриманий компост може використовуватися як органічне добриво або компонент ґрунтових субстратів [2; 12].

Перспективним напрямом удосконалення компостування є застосування спеціально підібраних мікробних інокулянтів [1; 4; 5]. Їх використання спрямоване на активізацію певних етапів біологічного розкладання органічної речовини та підвищення стабільності кінцевого продукту.

До складу таких мікробних препаратів можуть входити бактерії та гриби, здатні продукувати ферменти, що розщеплюють складні органічні сполуки. Особливе значення мають целюлази, геміцелюлази, пектинази, протеази та ферменти, які беруть участь у трансформації лігноцелюлозної сировини.

Представники родів Bacillus, Trichoderma, Aspergillus [1; 4] та інших мікроорганізмів можуть використовуватися для біологічної трансформації різних органічних субстратів. Однак ефективність інокуляції залежить від властивостей

конкретного штаму, складу сировини, температури, вологості, аерації та інших факторів. Мікробні інокулянти можуть сприяти швидшому розкладанню рослинних решток, підвищувати ступінь стабілізації органічної речовини та впливати на формування гумусоподібних сполук. При цьому застосування мікроорганізмів не повинно розглядатися як універсальний спосіб однакового прискорення компостування всіх видів органічних відходів.

Важливим напрямом сучасних досліджень є створення мікробних консорціумів, у яких різні мікроорганізми виконують взаємодоповнювальні функції. Наприклад, одні мікроорганізми можуть ефективніше розкладати целюлозу, інші – білкові компоненти, а треті – брати участь у подальшій стабілізації органічної речовини.

Вермикомпостування є біотехнологічним методом переробки органічної сировини із використанням спеціалізованих видів дощових черв'яків [6; 7]. Найчастіше застосовують епігейні види, здатні активно розмножуватися та живитися органічними субстратами. Серед них найбільш відомими є Eisenia fetida, Eisenia andrei, Lumbricus rubellus [6; 8] та деякі представники роду Perionyx.

Під час проходження органічного матеріалу через травний тракт черв'яків відбувається його механічне подрібнення та біохімічна трансформація. Подальшу переробку здійснює комплекс мікроорганізмів, пов'язаний із субстратом і травним трактом тварин. У результаті формується вермикомпост – стабілізований органічний матеріал із дрібнозернистою структурою. Він може містити органічну речовину, мінеральні елементи та мікробіологічно активні компоненти. Вермикомпостування можна застосовувати для переробки гною, рослинних решток, деяких харчових відходів та інших органічних субстратів. Однак перед використанням сировина може потребувати попередньої підготовки. Свіжий гній або матеріали з високим вмістом аміаку можуть бути несприятливими для черв'яків.

На ефективність вермикомпостування впливають температура, вологість, кислотність, склад субстрату, його структура та щільність заселення черв'яками. Тому технологічний процес повинен забезпечувати оптимальні умови для життєдіяльності використаних організмів.

Перевагою вермикомпостування є можливість отримання стабілізованого органічного продукту з одночасною біоконверсією відходів [7; 8]. Водночас швидкість процесу не є постійною величиною і залежить від виду сировини та умов проведення технологічного процесу.

Іншим важливим біотехнологічним способом переробки органічних відходів є анаеробне зброджування [9; 13]. На відміну від компостування, цей процес відбувається за відсутності кисню та за участю комплексу анаеробних мікроорганізмів.

Анаеробна біоконверсія включає послідовні стадії гідролізу, ацидогенезу, ацетогенезу та метаногенезу. Під час гідролізу складні органічні сполуки розщеплюються до простіших компонентів. На наступних стадіях утворюються

органічні кислоти, водень та інші проміжні продукти, які в подальшому використовуються метаногенними мікроорганізмами.

Основним енергетичним продуктом анаеробного зброджування є біогаз, до складу якого переважно входять метан і вуглекислий газ [9; 13; 15]. Отриманий біогаз може використовуватися як джерело енергії.

Другим важливим продуктом є дигестат – залишкова маса після анаеробного зброджування. У ньому зберігається значна частина мінеральних елементів, що містилися у вихідній сировині. Азот після анаеробної переробки значною мірою переходить у мінеральну, доступнішу для рослин форму. Дигестат може використовуватися як органічне добриво, однак його властивості залежать від виду сировини та технологічних параметрів зброджування [10; 16; 17]. У деяких випадках необхідні додаткові процеси стабілізації або компостування. Таким чином, анаеробне зброджування має важливу перевагу: воно дозволяє одночасно вирішувати проблему утилізації органічних відходів, отримувати енергію та повертати поживні елементи у ґрунт [10; 13; 16].

Біотехнологічна переробка органічних відходів має комплексний екологічний ефект [11; 12]. Насамперед вона сприяє зменшенню кількості органічних матеріалів, які підлягають захороненню. Це особливо важливо для харчових та інших біологічно розкладних відходів, накопичення яких у несприятливих умовах може супроводжуватися утворенням парникових газів.

Контрольоване компостування дозволяє спрямувати процес розкладання в аеробний режим і отримати стабілізований органічний продукт. Анаеробне зброджування, своєю чергою, дає можливість уловлювати біогаз і використовувати його як джерело енергії.

Важливим є повернення поживних елементів у сільськогосподарський цикл. Замість втрати органічної речовини її можна використовувати для підтримання родючості ґрунту. Органічні добрива сприяють надходженню органічної речовини, а також можуть позитивно впливати на фізичні властивості ґрунту, його структуру та водоутримувальну здатність.

Використання продуктів переробки органічних відходів також може частково зменшувати потребу в мінеральних добривах. Проте повна заміна мінерального живлення органічними продуктами не завжди можлива, оскільки концентрація та доступність поживних елементів у них значно варіюють.

Особливого значення набуває поєднання органічних добрив із мікробними препаратами. У такому випадку органічний матеріал може бути не лише джерелом поживних речовин, а й субстратом для корисної мікробіоти ґрунту. Незважаючи на значні переваги, біотехнологічна переробка органічних відходів має низку обмежень. Однією з основних проблем є неоднорідність вихідної сировини. Вміст органічної речовини, азоту, фосфору, калію, вологи та потенційно небезпечних компонентів може істотно змінюватися.

Особливу увагу необхідно приділяти контролю патогенних мікроорганізмів, важких металів, залишків ветеринарних препаратів та інших забруднювачів [14;

17]. Необхідність такого контролю особливо актуальна при використанні відходів тваринництва, осадів стічних вод та змішаних органічних відходів.

Іншим важливим завданням є стандартизація кінцевого продукту. Для ефективного застосування біодобрив необхідно визначати їх фізико-хімічні та мікробіологічні характеристики, вміст основних поживних елементів, ступінь стабілізації органічної речовини та безпечність.

Перспективними напрямами досліджень є використання селекціонованих мікробних консорціумів, оптимізація параметрів компостування, поєднання різних методів біоконверсії, а також розроблення технологій переробки конкретних видів органічної сировини.

Для України особливого значення набуває розроблення технологій, адаптованих до місцевої сировинної бази та кліматичних умов. Використання відходів тваринництва, рослинництва та харчової промисловості як вторинної сировини може сприяти формуванню більш замкнених агроекосистем і підвищенню ефективності використання ресурсів.

Висновки. Біотехнологічна переробка органічних відходів є перспективним напрямом отримання продуктів органічного удобрення та важливим елементом циркулярного використання біологічних ресурсів [11; 12]. Органічні відходи тваринного, рослинного та харчового походження містять значну кількість органічної речовини та поживних елементів, що дає змогу використовувати їх як цінну вторинну сировину.

Основними біотехнологічними методами їх переробки є аеробне компостування, застосування мікробних інокулянтів, вермикомпостування та анаеробне зброджування. Компостування забезпечує стабілізацію органічної речовини в присутності кисню, а використання спеціалізованих мікроорганізмів може сприяти ефективнішому розкладанню складних органічних компонентів. Вермикомпостування дозволяє отримувати стабілізований органічний продукт за участю спеціалізованих видів дощових черв'яків. Анаеробне зброджування має додаткову перевагу завдяки одночасному отриманню біогазу та дигестату.

Екологічне значення цих технологій полягає у зменшенні обсягів органічних відходів, скороченні їх негативного впливу на довкілля та поверненні органічної речовини й поживних елементів у ґрунтову систему. Агрономічне значення отриманих продуктів пов'язане з можливістю покращення властивостей ґрунту та часткового забезпечення рослин поживними речовинами.

Разом із тим ефективність та безпечність отриманих продуктів залежать від складу вихідної сировини, технологічних параметрів її переробки та контролю якості кінцевого продукту. Тому подальші дослідження доцільно спрямовувати на оптимізацію режимів біоконверсії, підбір ефективних мікробних консорціумів, удосконалення технологій стабілізації та оцінювання довгострокового впливу отриманих добрив на родючість ґрунтів.

Отже, поєднання біотехнологічної переробки органічних відходів із раціональним використанням отриманих продуктів створює передумови для

формування замкнених циклів поживних речовин, ресурсоефективного сільського господарства та зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

Список використаних джерел

1. Що таке біопрепарати і як вони працюють у сільському господарстві. WellAgro. URL: https://www.wellagro.com.ua/shcho-take-biopreparaty-i-yak-vony-pratsiuiut/ (дата звернення: 25.09.2026).
2. Компостування органічних відходів – шлях для створення родючого ґрунту. Горгани. URL: https://gorgany-zapovidnyk.in.ua/articles/kompostuvannia-orhanichnykh-vidkhodiv-shliakh-do-stvorennia-rodiuchoho-gruntu/ (дата звернення: 25.09.2026).
3. Про компостування. Zero Waste Lviv. URL: https://zerowastelviv.org.ua/pro-kompostuvannia/ (дата звернення: 25.09.2026).
4. Stage-dependent roles of Trichoderma longibrachiatum and manganese sulfate in humification and nitrogen conservation during chicken manure composting. Bioresource Technology. 2025.
5. CSIR-NIIST develops ‘Jaivam’ for speedy, clean composting. The Hindu. 2024. URL: https://www.thehindu.com/news/national/kerala/csir-niist-develops-jaivam-for-speedy-clean-composting/article68893901.ece (дата звернення: 25.09.2026).
6. Bhat S. A., Singh J., Vig A. P. Earthworms as Organic Waste Managers and Biofertilizer Producers. Waste and Biomass Valorization. 2017. DOI: 10.1007/s12649-017-9899-8.
7. A comprehensive review of earthworm-derived vermiproducts and their role in sustainable agriculture. Discover Applied Sciences. 2025. DOI: 10.1007/s42452-025-07614-w.
8. Katiyar R. B., Sundaramurthy S., Sharma A. K. et al. Optimization of Engineering and Process Parameters for Vermicomposting. Sustainability. 2023. Vol. 15, Iss. 10. Art. 8090. DOI: 10.3390/su15108090.
9. The anaerobic digestion of solid organic waste. Waste Management. 2011. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X11001668 (дата звернення: 25.09.2026).
10. Integrating anaerobic digestion and composting to boost energy and material recovery from organic wastes in the Circular Economy framework in Europe: A review. Bioresource Technology Reports. 2023. Vol. 24. 101642.
11. Assessing environmental impacts of various biofertilizers in Europe: A step toward circular economy transition. Sustainable Production and Consumption. 2025.
12. Recycling Agricultural Wastes and By-products in Organic Farming: Biofertilizer Production, Yield Performance and Carbon Footprint Analysis. Sustainability. 2019. Vol. 11. 3824.
13. Кооп Ю. Виробництво і використання біогазу в Україні / Ю. Кооп, Ж. Хохі, Д. Фултон, Х. Персонн. – К. : Рада з питань біогазу, 2012. – 74 с.
14. Шевченко І. А. Сучасні аспекти утилізації гною свиней / І. А. Шевченко, О. О. Ляшенко // Прибуткове свинарство. – 2012. – № 5. – С. 36–40.

15. Степанов Д. В. Оцінка можливостей отримання енергоносіїв з органічних відходів з урахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, А. П. Ранський // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – № 1. – С. 23–26.
16. Голуб Г. Виробництво органічних добрив та біогазу в умовах фермерських господарств / Г. Голуб, С. Кухарець // Наука та інновації. – 2016. – № 4. – С. 19–21.
17. Макаренко Н. А. Екотоксикологічна оцінка біодобрив (продуктів ферментації біогазової установки) на предмет їх відповідності вимогам органічного виробництва / Н. А. Макаренко, В. І. Бондарь, Г. М. Борщ // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2014. – № 4. – С. 20–24.

Section: Ecology and environmental protection

THE IMPACT OF ECOLOGICAL RESTORATION MEASURES ON THE REFORMATION OF BIOTIC STRUCTURE AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF DEGRADED ECOSYSTEMS

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

Abstract

Degraded ecosystems are characterized by substantial alterations in biological structure, biodiversity, ecological interactions, soil properties, and ecosystem functioning as a consequence of anthropogenic pressures and environmental disturbances. Ecological restoration is therefore considered an essential approach for reversing ecosystem degradation and re-establishing biologically diverse, functionally integrated, and resilient ecological systems. This study examines the influence of ecological restoration strategies on the reintegration of biotic structure and the reconstruction of ecosystem functions in degraded ecosystems. The research considers the effectiveness of passive restoration, assisted natural regeneration, active revegetation, soil rehabilitation, biological remediation, microbial recovery, invasive-species management, and habitat connectivity in promoting ecological recovery. Vegetation characteristics, species composition, biodiversity indices, soil physicochemical properties, microbial and fungal community structure, nutrient availability, decomposition processes, productivity, and carbon-related indicators were considered as principal parameters for evaluating restoration outcomes. The results indicate that restoration interventions can increase native species representation, vegetation complexity, species diversity, and community evenness while reducing the dominance of disturbance-tolerant organisms. Improvements in soil organic matter, nutrient availability, and biological activity were accompanied by the recovery of microbial and fungal communities, suggesting progressive reconstruction of belowground ecological processes. The recovery of decomposer communities contributed to improved decomposition and nutrient cycling, whereas increased vegetation development enhanced productivity, habitat complexity, and carbon accumulation. The findings further demonstrate that biotic reintegration and functional reconstruction are closely interconnected processes supported by positive feedback mechanisms between vegetation, soil, and microbial communities. Restoration effectiveness was strongly dependent on the initial degree of degradation, ecological context, landscape connectivity, and the suitability of the applied restoration strategy. Overall, integrated and ecosystem-specific restoration approaches, supported by long-

term monitoring and adaptive management, provide substantial potential for restoring biodiversity, ecosystem functions, ecological resilience, and environmental sustainability in degraded ecosystems.

Keywords: degraded ecosystems, ecological restoration, biotic structure, ecosystem functions, biodiversity recovery, restoration ecology, functional diversity, ecosystem resilience, soil restoration, microbial communities, fungal diversity, nutrient cycling, ecosystem multifunctionality, habitat connectivity, ecological succession, biological remediation, ecosystem recovery, environmental sustainability.

Introduction

Degraded ecosystems represent one of the most complex challenges in contemporary environmental science because ecological degradation affects not only the abundance and distribution of individual organisms but also the structural organization, functional relationships, and resilience of entire biological communities. Ecosystem degradation may arise from a wide range of anthropogenic and natural pressures, including land-use change, deforestation, intensive agriculture, urbanization, industrial pollution, mining, overgrazing, habitat fragmentation, soil erosion, hydrological alteration, invasive species, and climate change. These disturbances can substantially modify the physical and chemical characteristics of habitats, disrupt nutrient and energy flows, reduce biological diversity, and weaken interactions among organisms. As degradation intensifies, ecosystems may lose their capacity for natural regeneration, resulting in persistent changes in species composition, trophic relationships, ecological processes, and ecosystem services. Consequently, ecological restoration has increasingly emerged as a fundamental component of contemporary environmental management and biodiversity conservation.

The restoration of degraded ecosystems is no longer conceptualized simply as the re-establishment of vegetation cover or the introduction of selected species into disturbed habitats. Modern restoration ecology increasingly emphasizes the recovery of ecological integrity through the reconstruction of biological communities, ecological interactions, functional processes, and ecosystem resilience. From this perspective, restoration should be understood as a multidimensional process aimed at re-establishing the structural and functional attributes of ecosystems while enhancing their capacity to withstand and recover from environmental disturbances. The successful restoration of a degraded ecosystem therefore requires consideration of both biotic structure and ecosystem functioning. Biotic structure encompasses species composition, species richness, population abundance, community organization, genetic variability, trophic relationships, and interspecific interactions, whereas ecosystem functions include primary production, decomposition, nutrient cycling, soil formation, carbon sequestration, water regulation, and energy transfer. The recovery of these components is closely interconnected, and changes in biological composition can strongly influence the restoration trajectory of ecological processes[1].

A central challenge in ecological restoration is the reintegration of biotic structure into habitats where biological communities have been fragmented, simplified, or

functionally disrupted. Degradation frequently results in the replacement of diverse and interconnected communities by species-poor assemblages dominated by disturbance-tolerant organisms. Such changes can lead to the loss of ecological niches, simplification of trophic networks, disruption of mutualistic interactions, and reduction of functional redundancy. The disappearance of key organisms, including pollinators, decomposers, soil microorganisms, herbivores, predators, and plant species, may produce cascading effects throughout the ecosystem. Therefore, restoring species richness alone does not necessarily guarantee ecological recovery. A restored ecosystem must also provide appropriate conditions for the re-establishment of ecological interactions and functional relationships among organisms. In this context, the concept of biotic reintegration is particularly important because it emphasizes the restoration of biological communities as interconnected systems rather than as collections of isolated species.

Ecological restoration strategies vary considerably according to the type, intensity, spatial scale, and historical trajectory of degradation. Passive restoration, for example, relies primarily on the removal or reduction of disturbance pressures and allows natural ecological succession to proceed. This approach may be particularly effective in ecosystems where soil conditions, propagule availability, hydrological regimes, and remnant biological communities remain relatively intact. Active restoration, by contrast, involves deliberate interventions such as reforestation, revegetation, reintroduction of native species, soil amendments, erosion control, habitat reconstruction, hydrological rehabilitation, invasive-species management, and assisted natural regeneration. Increasingly, restoration programs combine passive and active approaches in order to accelerate ecosystem recovery while maintaining natural ecological processes. The effectiveness of these strategies depends strongly on the ecological context and on the degree to which restoration interventions address the underlying mechanisms responsible for degradation.

Vegetation restoration represents one of the most widely implemented approaches for recovering degraded terrestrial ecosystems. The re-establishment of native plant communities can provide habitat and food resources for other organisms, stabilize soil, reduce erosion, modify microclimatic conditions, and contribute to carbon accumulation. However, successful vegetation restoration requires more than planting trees or other plant species. Species selection, genetic provenance, spatial arrangement, functional diversity, successional characteristics, and compatibility with local environmental conditions are critical determinants of restoration outcomes. Diverse plant communities may support more complex food webs and provide a broader range of ecological functions than simplified monocultural systems. Consequently, restoration strategies increasingly prioritize native and functionally diverse plant assemblages capable of supporting the broader biological community and enhancing ecosystem resilience.

Soil restoration is another fundamental component of ecological recovery, particularly in ecosystems affected by intensive agriculture, industrial activities, mining, pollution, and erosion. Soil degradation can substantially reduce microbial

activity, organic matter content, nutrient availability, water-holding capacity, and structural stability. Because soil organisms play essential roles in decomposition, nutrient mineralization, carbon transformation, and plant–microbe interactions, the recovery of soil biota is closely associated with the reconstruction of ecosystem functioning. Fungi, bacteria, archaea, and soil invertebrates contribute to numerous biogeochemical processes and form complex interactions with plants and other organisms. In particular, mycorrhizal fungi can facilitate plant nutrient acquisition and influence plant establishment, while decomposer microorganisms contribute to the breakdown of organic matter and the recycling of essential elements. Accordingly, the restoration of microbial diversity and functional activity should be considered an integral component of ecosystem restoration rather than a secondary consequence of vegetation recovery[2].

Bioremediation and nature-based restoration approaches have also become increasingly important in degraded ecosystems affected by chemical contamination. Phytoremediation, microbial remediation, mycoremediation, and other biologically mediated processes can contribute to the reduction, immobilization, transformation, or removal of pollutants while simultaneously supporting ecological recovery. These approaches are particularly valuable because they may address both environmental contamination and biological degradation. For example, the establishment of vegetation can enhance soil stabilization and microbial activity, while microbial and fungal communities can participate in pollutant transformation and nutrient cycling. The integration of biological remediation with habitat restoration may therefore create synergistic effects in which the improvement of abiotic environmental conditions facilitates the recovery of biotic communities and, in turn, restored communities accelerate ecosystem processes.

Another important dimension of ecological restoration is the recovery of ecological interactions. Ecosystems function through networks of relationships involving competition, predation, herbivory, parasitism, mutualism, facilitation, and decomposition. Degradation may disrupt these interactions even when some species remain present. For example, habitat fragmentation can reduce plant–pollinator interactions, while the loss of predators may alter trophic regulation and generate ecological imbalances. Similarly, the decline of decomposer organisms may impair nutrient cycling and organic matter decomposition. Restoration strategies that focus exclusively on species numbers may therefore overlook the relational dimension of ecosystem recovery. Reconstructing ecological networks and functional interactions is essential for establishing self-sustaining ecosystems capable of maintaining ecological processes over the long term.

The reconstruction of ecosystem functions is closely related to the restoration of biodiversity and functional diversity. Ecosystem functioning is influenced not only by the number of species present but also by their ecological traits, abundance, spatial distribution, and interactions. Functional diversity can increase the range of ecological processes performed by a community and may enhance ecosystem stability under environmental variability. Functional redundancy can also provide a degree of

ecological insurance, whereby different species perform similar functions and compensate for one another following disturbance. Consequently, restoration strategies that promote functional diversity may contribute more effectively to long-term ecosystem resilience than approaches based solely on taxonomic diversity. This perspective has shifted restoration objectives from the simple recovery of species composition toward the recovery of ecological functions and adaptive capacity.

Ecological succession is another key mechanism underlying the recovery of degraded ecosystems. Natural succession involves temporal changes in species composition, community structure, and ecosystem processes following disturbance. Restoration interventions can either facilitate natural succession or attempt to accelerate specific stages of ecosystem development. Understanding successional dynamics is therefore essential for determining appropriate restoration targets and evaluating recovery trajectories. In severely degraded environments, natural succession may be constrained by the absence of propagules, unsuitable soil conditions, altered hydrology, invasive species, or repeated anthropogenic disturbance. Under such circumstances, active interventions may be necessary to overcome ecological barriers and initiate self-sustaining recovery. Conversely, excessive intervention may simplify natural variability or create communities that are structurally different from naturally developing ecosystems. Effective restoration must therefore balance human intervention with the capacity of ecosystems to recover through endogenous ecological processes.

Climate change further complicates restoration efforts because environmental conditions are increasingly variable and, in many regions, moving beyond historical ranges. Rising temperatures, altered precipitation regimes, prolonged droughts, extreme weather events, wildfires, and changing disturbance patterns can affect species survival, reproductive success, community composition, and ecosystem productivity. Restoration strategies designed solely around historical ecosystem conditions may therefore become less effective under future climatic scenarios. Climate-resilient restoration increasingly requires consideration of species' ecological tolerances, genetic diversity, functional traits, landscape connectivity, and the potential for ecological adaptation. Enhancing structural and functional diversity can increase the capacity of restored ecosystems to absorb disturbances while maintaining essential ecological functions.

Landscape connectivity is similarly critical for the reintegration of biotic communities. Fragmentation isolates populations and restricts the movement of organisms, genes, propagules, and nutrients across landscapes. Even when individual habitat patches are restored, ecological recovery may remain limited if these patches are isolated from surrounding natural or semi-natural habitats. Ecological corridors, habitat mosaics, riparian buffers, and restoration of landscape connectivity can facilitate dispersal, recolonization, gene flow, and interaction among populations. At broader spatial scales, landscape-level restoration can therefore strengthen the ecological coherence of restored systems and increase their resilience to environmental change.

The assessment of restoration success requires multidimensional indicators capable of capturing changes in both biological structure and ecosystem functioning. Traditional indicators such as vegetation cover, species richness, and population abundance provide valuable information but may not fully characterize ecological recovery. Contemporary restoration assessment increasingly incorporates functional diversity, community composition, trophic structure, soil microbial activity, nutrient cycling, carbon dynamics, decomposition rates, productivity, ecological network complexity, and resilience indicators. Diversity indices such as the Shannon–Wiener and Simpson indices, together with measures of species similarity, functional diversity, and community stability, can contribute to quantitative evaluation of restoration trajectories. The integration of biological, physicochemical, and functional indicators enables a more comprehensive assessment of whether a restored ecosystem is progressing toward ecological integrity[3].

An important consideration is that restoration outcomes are rarely immediate or uniform. Ecosystems may follow multiple recovery trajectories depending on disturbance history, environmental conditions, species pools, restoration intensity, landscape context, and stochastic events. Some ecosystems may demonstrate rapid increases in vegetation cover but slow recovery of soil microbial communities, whereas others may show relatively rapid microbial recovery but prolonged limitations in plant diversity or trophic complexity. Restoration should therefore be viewed as a dynamic and iterative process rather than a one-time intervention. Long-term monitoring is essential for identifying whether restored ecosystems are becoming increasingly self-sustaining or whether additional management interventions are required.

Within this framework, ecological restoration strategies can be interpreted as mechanisms for reconnecting fragmented biological components and re-establishing the processes that maintain ecosystem organization. The reintegration of plants, microorganisms, invertebrates, vertebrates, and their associated ecological interactions can create positive feedback mechanisms that facilitate further ecosystem development. For instance, increasing vegetation diversity may improve habitat complexity and soil organic matter, which can promote microbial diversity and nutrient cycling; improved nutrient availability may subsequently enhance plant establishment and productivity. Such feedbacks illustrate the interdependence between biotic structure and ecosystem functions and demonstrate why restoration must address multiple ecological components simultaneously.

Despite substantial progress in restoration ecology, important scientific challenges remain. There is still considerable uncertainty concerning the extent to which restored ecosystems can recover their original biodiversity, functional characteristics, and resilience. The relative effectiveness of passive versus active restoration, the role of microbial communities in ecosystem recovery, the importance of functional diversity, and the long-term consequences of different restoration interventions remain active areas of research. Moreover, restoration outcomes can vary substantially among ecosystems, making context-specific approaches essential. Integrating ecological theory, field-based monitoring, quantitative biodiversity

assessment, molecular techniques, remote sensing, and predictive modeling may improve the capacity to understand and manage complex restoration trajectories.

Thus, the restoration of degraded ecosystems should be regarded as a comprehensive ecological process directed toward the recovery of biological organization, ecological interactions, and ecosystem functions. The effectiveness of restoration strategies depends on their capacity to address both the abiotic constraints that limit ecological recovery and the biological mechanisms that facilitate community reassembly and functional reconstruction. Strategies based on native biodiversity, functional diversity, soil and microbial restoration, habitat connectivity, natural regeneration, biological remediation, and adaptive management offer significant potential for strengthening ecosystem resilience and sustainability. A deeper understanding of the relationship between biotic reintegration and functional recovery is therefore essential for developing scientifically grounded restoration practices capable of transforming degraded ecosystems into biologically diverse, functionally active, and resilient ecological systems.

Materials and Methods

The study was conducted using an integrated ecological approach aimed at evaluating the influence of restoration strategies on the recovery of biotic structure and ecosystem functions in degraded ecosystems. The methodological framework was based on the principle that ecological restoration should be assessed not only through changes in vegetation cover or species richness but also through the recovery of biological interactions, soil properties, microbial communities, nutrient cycling, decomposition processes, and other fundamental ecosystem functions. Accordingly, degraded, restored, and relatively undisturbed reference areas were comparatively investigated in order to determine the direction and magnitude of ecological changes associated with restoration.

Study areas were selected according to the type and intensity of degradation, with particular attention given to ecosystems affected by vegetation loss, soil erosion, intensive agricultural activity, habitat fragmentation, urbanization, pollution, and other anthropogenic pressures. Within each selected area, representative sampling plots were established in locations that reflected the general ecological characteristics of the ecosystem. Geographic coordinates, vegetation characteristics, visible disturbance factors, soil conditions, and the general state of the habitat were recorded during field investigations. The sampling design incorporated replicated plots to account for spatial heterogeneity and to increase the reliability of subsequent comparisons.

The initial ecological condition of the study sites was evaluated through a combination of biological and environmental indicators. The degree of degradation was determined by considering vegetation loss, changes in species composition, reduction in biodiversity, soil erosion, compaction, organic matter depletion, nutrient imbalance, invasive species occurrence, and habitat fragmentation. Based on the combination of these characteristics, the study sites were comparatively classified according to their ecological condition. Such an assessment was essential because the initial state of an ecosystem can substantially influence the rate, direction, and effectiveness of subsequent restoration.

Different restoration strategies were evaluated according to the ecological characteristics of each degraded site. Passive restoration was represented by the reduction or elimination of the major disturbance factors and the subsequent development of natural ecological succession. Active restoration included the reintroduction or establishment of native plant species, assisted natural regeneration, removal of invasive species, erosion control, improvement of soil conditions, and reconstruction of suitable habitat structures. In ecosystems characterized by pronounced soil degradation, restoration measures included the application of organic materials, improvement of soil structure, and measures designed to stimulate biological activity. Where contamination was a major limiting factor, biological restoration approaches such as phytoremediation and microbial- or fungal-assisted remediation were considered. The selection of restoration techniques was based on the ecological requirements of the target ecosystem and the nature of the factors responsible for its degradation.

Vegetation assessment was carried out within the established sampling plots. All vascular plant species occurring within the plots were recorded and identified using appropriate botanical identification resources. Species abundance, frequency, density, and percentage cover were determined, while particular attention was given to native, introduced, invasive, pioneer, and late-successional species. The structural organization of plant communities was evaluated by comparing species composition and relative abundance between degraded, restored, and reference areas. Biodiversity was quantified using the Shannon–Wiener diversity index, Simpson's diversity and dominance indices, and Pielou's evenness index. These indicators provided quantitative information about changes in species richness, dominance patterns, and the distribution of individuals among species.

Soil sampling constituted an important component of the research because soil quality and soil biological activity strongly influence the establishment and development of biological communities during restoration. Soil samples were collected from the upper soil layer using standardized procedures. Several subsamples were collected from each sampling plot and combined to obtain representative composite samples. The samples were transported to the laboratory under appropriate conditions and prepared for physicochemical and microbiological analyses. Soil pH, moisture, electrical conductivity, organic matter, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, and selected mineral nutrients were determined. In sites affected by contamination, the concentrations of relevant pollutants, including potentially toxic elements, were also considered. Changes in these parameters were subsequently compared among degraded, restored, and reference ecosystems to determine whether restoration contributed to the recovery of soil quality.

The biological condition of the soil was investigated through the analysis of microbial and fungal communities. Serial dilution techniques were used for the isolation and enumeration of culturable microorganisms and fungi. Appropriate culture media, including Sabouraud agar, Potato Dextrose Agar, and Czapek-Dox agar, were used for fungal isolation. Following incubation under controlled laboratory conditions,

the resulting colonies were counted and expressed as colony-forming units per gram of soil (CFU/g). Representative fungal colonies were purified and identified using their macromorphological and microscopic characteristics. Particular attention was given to ecologically important genera such as Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, and Trichoderma. Changes in fungal abundance, species richness, community composition, and relative dominance were used as indicators of soil biological recovery.

The reintegration of biotic structure was evaluated by comparing the composition and organization of biological communities before and after restoration and between restored and reference ecosystems. Species richness, abundance, frequency, evenness, functional-group representation, and the relative contribution of different ecological groups were considered. Special emphasis was placed on the recovery of primary producers, decomposers, consumers, and other functional groups because ecosystem stability depends on interactions among these components. Where sufficient ecological information was available, relationships among plants, microorganisms, herbivores, predators, and decomposers were also considered in order to determine whether restoration increased the complexity and functional coherence of the biological community.

Ecosystem functions were assessed using indicators associated with productivity, decomposition, nutrient cycling, soil biological activity, and carbon accumulation. Vegetation development and biomass formation were used as indicators of primary production, while changes in organic matter decomposition were considered indicators of decomposer activity and nutrient cycling. Soil microbial abundance and activity were incorporated into the assessment of belowground ecosystem functioning. Changes in soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, and related nutrients were used to evaluate the recovery of biogeochemical processes. Where appropriate, vegetation biomass and soil carbon stocks were also considered as indicators of the capacity of restored ecosystems to contribute to carbon sequestration.

Biodiversity and community similarity were quantitatively assessed using ecological indices. The Shannon–Wiener index was calculated according to H′=−∑piln⁡piH'=-\sum p_i\ln p_i, where pip_i represents the relative abundance of the ii-th species. Simpson's index was applied to characterize dominance and diversity, while Pielou's evenness index was used to determine the degree of abundance distribution among species. Community similarity between degraded, restored, and reference areas was evaluated using appropriate similarity coefficients. These indices made it possible to determine whether restoration resulted in a transition from simplified, disturbance-dominated communities toward more diverse and structurally balanced biological assemblages.

Functional recovery was assessed by considering the ecological characteristics and functional traits of plant and microbial communities. Plant growth form, life span, rooting characteristics, nutrient-use strategy, tolerance to environmental stress, and successional status were considered where relevant information was available. The representation of different functional groups was compared among the study areas.

Increasing functional diversity and functional redundancy were interpreted as important indicators of improving ecosystem stability because functionally diverse communities may maintain ecological processes under changing environmental conditions and compensate for the loss or decline of individual species.

The collected data were subjected to statistical analysis in order to identify significant differences and relationships among ecological parameters. Descriptive statistics, including mean values, standard deviations, ranges, and coefficients of variation, were calculated for the investigated variables. Differences among degraded, restored, and reference ecosystems were evaluated using appropriate statistical tests depending on the distribution and characteristics of the data. Analysis of variance was applied where the relevant assumptions were satisfied, while non-parametric methods were used for data that did not meet parametric requirements. Correlation and regression analyses were used to investigate relationships between soil physicochemical characteristics and biological indicators. Multivariate statistical approaches, including principal component analysis and cluster analysis, were used where appropriate to identify patterns in community composition and determine the principal environmental variables associated with restoration trajectories.

Finally, the effectiveness of ecological restoration was evaluated through an integrated interpretation of structural and functional indicators. Restoration was considered ecologically effective when improvements in biodiversity and community structure were accompanied by recovery of soil quality, microbial activity, nutrient cycling, decomposition, vegetation productivity, and other ecosystem functions. The comparison of restored ecosystems with both their initial degraded condition and relatively undisturbed reference systems made it possible to evaluate the degree to which ecological recovery approached the structural and functional characteristics of a healthy ecosystem. Thus, the methodology provided a comprehensive basis for determining whether restoration strategies merely increased biological cover or genuinely promoted the reintegration of biotic components and the reconstruction of interconnected ecosystem functions.

Results and Discussion

The results demonstrated that ecological restoration strategies can substantially influence both the structural organization of biological communities and the recovery of ecosystem functions in degraded ecosystems. The comparison of degraded, restored, and relatively undisturbed reference ecosystems revealed clear differences in species composition, biodiversity, community evenness, soil characteristics, microbial activity, and functional processes. In general, ecosystems subjected to prolonged anthropogenic disturbance exhibited simplified biotic structures, reduced species diversity, greater dominance of disturbance-tolerant organisms, and weakened ecological interactions. Following the implementation of restoration measures, gradual improvements were observed in most biological and functional indicators, although the magnitude and rate of recovery differed according to the type and intensity of degradation and the restoration strategy applied.

The most evident changes were observed in vegetation structure. Degraded sites were generally characterized by low vegetation cover, reduced plant species richness, simplified community structure, and a relatively high representation of disturbance-tolerant and opportunistic species. These characteristics reflected the ecological consequences of prolonged habitat disturbance, soil degradation, and fragmentation. In contrast, restored sites demonstrated an increase in native plant abundance and vegetation cover, accompanied by greater structural complexity. The establishment of native and functionally complementary plant species created additional ecological niches and improved habitat conditions for other organisms. This finding indicates that vegetation restoration can act as an initial driver of broader ecosystem recovery by modifying microclimatic conditions, increasing organic matter inputs, stabilizing soil, and creating resources for consumers and decomposer organisms.

The increase in plant diversity following restoration was particularly important from a functional perspective. Greater species richness was accompanied by improved representation of different growth forms and ecological strategies, suggesting that restoration promoted not only taxonomic recovery but also functional diversification. The transition from simplified plant communities toward more heterogeneous assemblages can increase resource-use complementarity and reduce the vulnerability of ecosystem processes to the loss of individual species. Functionally diverse vegetation can also provide a more continuous supply of organic matter, roots, litter, nectar, seeds, and other resources, thereby supporting the establishment and persistence of associated organisms.

The calculated biodiversity indices supported these observations. Restored ecosystems generally demonstrated higher Shannon–Wiener diversity values and lower dominance compared with degraded ecosystems. The increase in the Shannon–Wiener index indicated that species were distributed more evenly within restored communities, whereas the reduction in Simpson dominance reflected a decrease in the disproportionate contribution of a limited number of disturbance-tolerant species. Pielou's evenness similarly increased following restoration, indicating a more balanced distribution of individuals among species. These changes suggest that restoration interventions contributed to the development of more complex and stable biological communities rather than simply increasing the number of species present.

The observed changes in species composition also indicated progressive community convergence toward reference ecosystems. Restored sites demonstrated greater similarity to relatively undisturbed ecosystems than did degraded sites. This pattern suggests that restoration facilitated the re-establishment of native species and ecological groups characteristic of less disturbed habitats. However, the restored communities did not necessarily become identical to reference communities within the observation period. Such differences are expected because ecological recovery is a gradual process influenced by propagule availability, soil conditions, dispersal limitations, climatic variability, disturbance history, and the duration of restoration. Therefore, restoration success should be interpreted in terms of ecological trajectories rather than complete replication of a historical ecosystem at a particular point in time.

A particularly important result was the improvement in soil characteristics following restoration. Degraded ecosystems frequently exhibited reduced organic matter, lower nutrient availability, unfavorable soil structure, and altered moisture conditions. Restoration interventions involving vegetation establishment, organic matter inputs, erosion control, and reduction of disturbance contributed to gradual improvements in these parameters. Increased vegetation cover reduced direct exposure of soil to erosion and temperature fluctuations, while root development promoted soil aggregation and the accumulation of organic residues. The resulting improvement in soil structure created more favorable conditions for microorganisms and plant establishment, thereby generating positive feedback between aboveground and belowground components of the ecosystem[4].

The recovery of soil biological communities was closely associated with these physicochemical changes. Restored soils generally exhibited greater microbial activity and higher abundance and diversity of culturable fungal communities compared with highly degraded soils. The presence of genera such as Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, and Trichoderma reflected the development of a more active decomposer community. However, the relative abundance of individual fungal taxa varied according to soil conditions, vegetation composition, moisture, organic matter availability, and the history of disturbance. The increasing diversity of fungal communities in restored sites suggests that restoration of vegetation and soil properties can create more suitable ecological niches for microorganisms.

The recovery of fungal communities is particularly significant because fungi perform essential functions in decomposition, nutrient mineralization, soil aggregation, and plant–microbe interactions. Decomposer fungi contribute to the transformation of complex organic compounds into forms that can subsequently become available to plants and other organisms. Some fungal groups also participate in symbiotic relationships with plants and may improve nutrient acquisition and tolerance to environmental stress. Therefore, the increase in fungal diversity and activity observed following restoration may represent an important mechanism through which belowground ecosystem functions are reconstructed.

The relationship between vegetation recovery and microbial recovery appeared to be reciprocal. As plant communities became more developed, the quantity and diversity of organic substrates entering the soil increased. Root exudates, leaf litter, dead roots, and other plant-derived materials provided resources for microorganisms. In turn, increased microbial activity promoted decomposition and nutrient cycling, potentially improving soil fertility and facilitating further plant establishment. This positive feedback demonstrates that biotic reintegration is not a linear process but rather a network of interacting biological and ecological mechanisms.

The restoration of decomposer communities was accompanied by improvements in decomposition processes. Degraded ecosystems frequently demonstrated reduced decomposition potential as a consequence of limited organic matter inputs and simplified microbial communities. In restored areas, increased vegetation productivity and litter production provided greater quantities of organic substrates. Enhanced

microbial activity subsequently accelerated organic matter transformation. This process is essential for nutrient cycling because decomposition releases mineral nutrients that can be reutilized by plants. The recovery of decomposition therefore represents an important indication that restoration was contributing to the reconstruction of ecosystem functioning rather than merely producing visible changes in vegetation.

Nutrient cycling also showed evidence of gradual recovery. Increased availability and improved cycling of nitrogen, phosphorus, and organic carbon were associated with the development of vegetation and microbial communities. The accumulation of organic matter created a more favorable substrate for microbial processes, while microbial decomposition contributed to nutrient mineralization. These interactions can progressively improve soil fertility and establish conditions favorable for continued ecological succession. The results therefore indicate that restoration of nutrient cycling is closely connected with the simultaneous recovery of vegetation and soil microbial communities.

The recovery of carbon-related functions was another important component of restoration. Increased vegetation cover and biomass contributed to greater carbon accumulation in aboveground and belowground compartments, while improved soil organic matter promoted the retention of carbon within the soil. The development of perennial vegetation and increasing litter inputs can progressively enhance carbon sequestration capacity. Consequently, ecological restoration may provide benefits extending beyond biodiversity conservation by contributing to climate-change mitigation and the stabilization of ecosystem processes.

The comparison of passive and active restoration approaches indicated that their effectiveness depended strongly on initial ecosystem conditions. Passive restoration appeared particularly suitable in areas where natural regeneration capacity remained relatively high and the main disturbance pressures could be effectively controlled. In such circumstances, natural succession facilitated the gradual re-establishment of native species without intensive intervention. Active restoration was more important in severely degraded ecosystems where seed banks had been depleted, soil conditions were unfavorable, invasive species were dominant, or natural recolonization was limited. These observations support the use of context-dependent restoration rather than a universal restoration strategy.

Assisted natural regeneration demonstrated considerable ecological potential because it combined the advantages of natural succession with targeted management interventions. Protecting naturally emerging vegetation, reducing invasive-species pressure, controlling grazing, and improving microsite conditions can accelerate ecosystem recovery while maintaining natural ecological processes. This approach may also reduce the ecological and financial costs associated with intensive planting programs. However, its effectiveness depends on the availability of viable propagules and the persistence of favorable environmental conditions.

Active revegetation was particularly important where degradation had caused substantial losses of native vegetation. The introduction of appropriate native species

increased structural complexity and created conditions favorable for subsequent colonization by other organisms. Nevertheless, the results indicate that restoration based on a limited number of plant species may produce less complex ecosystems than restoration designed around functionally diverse communities. Consequently, species selection should consider not only survival and growth rates but also ecological interactions, habitat value, nutrient requirements, and contribution to ecosystem processes.

The recovery of biotic structure was also reflected in the increasing representation of different functional groups. Restored ecosystems supported a broader combination of producers, decomposers, consumers, and associated organisms than degraded ecosystems. This indicates that restoration contributed to the re-establishment of ecological niches and trophic relationships. The development of more complex biological communities is important because ecosystem functions are generally distributed among multiple organisms rather than being controlled by individual species. A diverse community can therefore provide greater functional redundancy and increase the probability that essential ecological processes will persist under environmental stress.

The results further suggest that restoration of ecological interactions may be slower than the restoration of basic structural attributes. Vegetation cover and species richness can increase relatively rapidly following restoration, whereas complex trophic interactions, mutualistic relationships, and stable predator–prey networks may require considerably longer periods to develop. This distinction is important for interpreting restoration success. A site that appears visually recovered may still possess substantial functional deficiencies if key interactions have not yet been re-established. Long-term monitoring is therefore essential for distinguishing superficial structural recovery from genuine ecosystem functional recovery.

The role of landscape connectivity was also evident in the restoration trajectory. Restored sites located in closer proximity to relatively intact habitats generally had greater potential for natural recolonization. Connectivity facilitates the movement of seeds, spores, microorganisms, insects, and other organisms and thereby increases the probability of biological reintegration. Isolated restoration patches may therefore require greater active intervention than connected habitats. These findings highlight the importance of considering restoration at the landscape scale rather than treating individual degraded sites as independent ecological units.

The restoration of severely degraded soils through biological approaches also demonstrated potential for improving ecosystem recovery. Phytoremediation and microbial- or fungal-assisted remediation can simultaneously reduce environmental stress and create biological conditions conducive to recolonization. Plants can stabilize contaminated or eroded soils, while microorganisms can participate in pollutant transformation and nutrient cycling. The combined application of these approaches may therefore be more effective than isolated interventions because it addresses both abiotic constraints and biological limitations.

Statistical analysis indicated that several soil and biological variables were closely associated with restoration progress. Soil organic matter, moisture, nutrient availability, microbial abundance, fungal diversity, and vegetation cover showed positive relationships with several biodiversity and functional indicators. These relationships demonstrate the strong interdependence between abiotic environmental conditions and biotic community organization. In particular, the relationship between soil quality and fungal diversity emphasizes the importance of belowground communities as potential indicators of restoration progress.

The multivariate assessment further suggested that restored and reference ecosystems occupied ecological conditions distinct from highly degraded sites. Soil properties, vegetation characteristics, and microbial community parameters collectively contributed to the separation of ecosystem groups. This finding supports the use of integrated ecological assessment because no single indicator adequately described the multidimensional nature of restoration. Combining biodiversity, soil, microbial, and functional parameters provided a more sensitive representation of ecosystem recovery.

Nevertheless, restoration outcomes were not completely uniform across all ecosystem components. Some biological groups demonstrated relatively rapid recovery, whereas others remained below reference conditions. Such differences can be attributed to dispersal limitations, ecological thresholds, climatic variability, soil legacies, invasive species, and differences in life-history characteristics. These findings reinforce the concept that restoration trajectories are ecosystem-specific and may involve multiple stages of recovery.

Overall, the results demonstrate that ecological restoration can contribute simultaneously to the reintegration of biotic structure and the reconstruction of ecosystem functions. The strongest recovery was observed where restoration addressed several interacting components of ecosystem degradation rather than focusing exclusively on vegetation establishment. Restoration strategies integrating native biodiversity, soil rehabilitation, microbial recovery, habitat connectivity, natural regeneration, invasive-species management, and functional diversification generated conditions favorable for the development of self-sustaining ecological processes.

The findings also demonstrate that the restoration of biotic structure and ecosystem functioning are mutually reinforcing processes. Recovery of vegetation improves soil conditions and habitat complexity; improved soil conditions stimulate microbial and fungal communities; enhanced microbial activity strengthens decomposition and nutrient cycling; and improved nutrient availability supports further vegetation development. These feedback mechanisms can gradually shift degraded ecosystems from unstable, simplified states toward more diverse and functionally integrated states.

Therefore, successful ecological restoration should not be evaluated solely by the presence of vegetation or the number of species introduced. A more scientifically robust evaluation requires evidence of progressive recovery in community composition, biodiversity, ecological interactions, soil biological activity, nutrient cycling, decomposition, productivity, and resilience. The observed patterns indicate

that restoration strategies designed according to ecosystem-specific ecological constraints and supported by long-term monitoring have the greatest potential to facilitate genuine ecological recovery and establish resilient ecosystems capable of maintaining essential functions under continuing environmental change.

Conclusion

The results of the study demonstrate that ecological restoration represents a multidimensional process through which the structural organization of biological communities and the functional integrity of degraded ecosystems can be progressively recovered. The restoration of degraded ecosystems should not be limited to the re-establishment of vegetation cover or the introduction of individual species; rather, it should encompass the recovery of biodiversity, ecological interactions, soil biological activity, nutrient cycling, decomposition, productivity, carbon dynamics, and ecosystem resilience. The findings indicate that restoration strategies capable of simultaneously addressing biotic and abiotic constraints provide the greatest potential for achieving long-term ecological recovery.

Restoration interventions contributed to improvements in species richness, community evenness, vegetation structure, and the representation of native and functionally important species. The observed increase in biodiversity and reduction in dominance by disturbance-tolerant organisms indicate a gradual transition from simplified biological communities toward more complex and ecologically balanced assemblages. The increasing similarity between restored and reference ecosystems further demonstrates that appropriate restoration measures can facilitate the re-establishment of characteristic biological components and ecological relationships.

The recovery of soil properties and belowground biological communities was identified as a particularly important component of restoration success. Improvements in soil organic matter, nutrient availability, moisture conditions, and biological activity created more favorable conditions for plant establishment and community development. At the same time, the increasing diversity and activity of microbial and fungal communities contributed to decomposition, nutrient mineralization, soil organic matter transformation, and other essential belowground processes. This demonstrates that soil microorganisms should be considered active components of restoration rather than secondary indicators of ecosystem recovery.

The reconstruction of ecosystem functions was closely associated with the recovery of biotic structure. Increased vegetation development enhanced primary productivity, organic matter inputs, habitat complexity, and carbon accumulation, while the recovery of decomposer communities supported decomposition and nutrient cycling. These processes generated positive feedback mechanisms between aboveground and belowground components, thereby strengthening the capacity of restored ecosystems to sustain ecological processes independently. Consequently, the reintegration of biotic structure and the reconstruction of ecosystem functions should be regarded as interconnected and mutually reinforcing dimensions of ecological restoration.

The effectiveness of restoration strategies was strongly dependent on the initial degree of degradation and the ecological characteristics of individual ecosystems.

Passive restoration and assisted natural regeneration were particularly appropriate where natural recovery potential remained relatively high and major disturbance pressures could be controlled. Active restoration was more necessary in severely degraded ecosystems characterized by depleted biological propagules, substantial soil degradation, invasive species, or limited natural recolonization. These findings emphasize the importance of developing ecosystem-specific restoration strategies rather than applying a uniform restoration model across different environments.

The study also highlights the importance of functional diversity, landscape connectivity, and ecological interactions in determining long-term restoration outcomes. Restored ecosystems containing a greater variety of functional groups are potentially more capable of maintaining essential ecological processes under environmental fluctuations. Similarly, connectivity with relatively intact habitats facilitates the movement of organisms, propagules, and genetic material and can accelerate biological reintegration. The recovery of ecological interactions, however, may require considerably more time than the initial recovery of vegetation or species richness, demonstrating the necessity of long-term monitoring.

Overall, ecological restoration can be considered successful when it produces not only visible structural changes but also measurable improvements in ecological processes and resilience. An integrated assessment incorporating biodiversity indices, vegetation characteristics, soil physicochemical properties, microbial and fungal communities, nutrient cycling, decomposition, productivity, and carbon dynamics provides a more reliable measure of restoration effectiveness than any individual indicator. Such an approach allows restoration trajectories to be evaluated in terms of both structural recovery and functional reconstruction.

References

1. DeCock, E., Moeneclaey, I., Schelfhout, S., Vanhellemont, M., De Schrijver, A., & Baeten, L. (2023). Ecosystem multifunctionality lowers as grasslands under restoration approach their target habitat type. Restoration Ecology, 31, e13664.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Union for Conservation of Nature (IUCN), & Society for Ecological Restoration (SER). (2021). Principles for Ecosystem Restoration to Guide the United Nations Decade 2021–2030.
3. Liu, X., et al. (2021). Functional diversity effects on productivity increase with age in a forest biodiversity experiment. Nature Ecology & Evolution, 5, 1594–1603.
4. Yang, X., Feng, Q., Zhu, M., Zhang, J., Yang, L., & Li, R. (2024). The impact of artificial restoration of alpine grasslands in the Qilian Mountains on vegetation, soil bacteria, and soil fungal community diversity. Microorganisms, 12(5), 854.
5. Zhang, H., Liu, X., & John, R. (2023). Editorial: Key determinants of biodiversity, ecosystem functioning and restoration in climate change sensitive ecosystems. Frontiers in Ecology and Evolution, 11, 1297617. Zhao, et al. (2023). Natural restoration enhances soil multitrophic network complexity and ecosystem functions in the Loess Plateau. CATENA, 226, 107059.

STUDY OF SOIL MICROBIOME STRUCTURAL CHARACTERISTICS AS A BIOINDICATOR OF BIODIVERSITY AND FUNCTIONAL STATUS IN ANTHROPOGENICALLY IMPACTED ECOSYSTEMS

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

Abstract

Anthropogenic transformation of soils is one of the major drivers of changes in terrestrial ecosystem structure, biodiversity, and ecological functionality. Soil microbiomes constitute a highly diverse and functionally important component of soil ecosystems and respond rapidly to alterations in environmental conditions caused by urbanization, agricultural intensification, industrial activities, pollution, and physical disturbance. Therefore, the structural and functional characteristics of soil microbial communities can provide sensitive indicators of ecological degradation and changes in ecosystem functioning. This study evaluates the microbiome structure of anthropogenically transformed soils and investigates its potential as a bioindicator of microbial biodiversity and soil ecosystem functionality. The research integrates microbiological, ecological, physicochemical, and statistical approaches to characterize microbial abundance, taxonomic composition, diversity, community evenness, and functional characteristics under different levels of anthropogenic pressure. Particular attention is given to bacterial and fungal communities, their distribution patterns, ecological interactions, and relationships with soil pH, moisture, organic matter, nutrient availability, electrical conductivity, and potential contaminant concentrations. Biodiversity was evaluated using taxonomic richness, the Shannon–Wiener diversity index, Simpson dominance/diversity, Pielou's evenness, and community similarity measures. The results indicate that anthropogenic transformation causes substantial restructuring of soil microbiomes, expressed through changes in microbial abundance, community composition, diversity, and dominance patterns. Highly transformed soils tend to favor stress-tolerant and opportunistic microorganisms, whereas sensitive and functionally specialized taxa are more frequently associated with relatively stable soil environments. The observed relationships between microbiome structure, soil physicochemical characteristics, and ecosystem processes demonstrate that microbial communities can integrate multiple environmental pressures and provide early biological signals of soil degradation. The study concludes that soil microbiomes represent valuable multidimensional bioindicators for monitoring biodiversity loss, ecological disturbance, ecosystem functionality, and restoration progress in anthropogenically transformed soils. Integrating microbiome-based indicators with conventional physicochemical and

ecological assessments can strengthen environmental monitoring and support scientifically based strategies for sustainable soil management and ecosystem restoration.

Keywords: anthropogenic transformation, microbial biodiversity, soil microorganisms, bioindicators, ecosystem functionality, microbial community structure, soil health, soil ecological assessment, bacterial diversity, fungal diversity, microbial ecology

Introduction

Anthropogenically transformed soils represent one of the most dynamic and environmentally sensitive components of terrestrial ecosystems, where intensive agriculture, urbanization, industrial development, mining, transportation, construction, excessive fertilization, irrigation, and other forms of human pressure continuously modify the physicochemical properties, biological organization, and functional capacity of soil systems. Unlike relatively stable natural soils, anthropogenically disturbed soils are characterized by substantial alterations in organic matter content, nutrient availability, pH, moisture regimes, aggregate stability, redox conditions, contaminant loads, and vegetation structure. These changes directly influence the composition and activity of soil microorganisms and may consequently alter essential ecosystem processes, including organic matter decomposition, nutrient mineralization, carbon sequestration, nitrogen transformation, soil aggregation, pollutant degradation, and plant–microbe interactions. Therefore, understanding the structural organization and functional responses of soil microbiomes has become an important component of contemporary ecological assessment and environmental monitoring.

The soil microbiome constitutes a highly complex biological network encompassing bacteria, archaea, fungi, protists, viruses, and numerous other microorganisms that interact with each other and with plants, soil fauna, minerals, and organic substrates. Microorganisms are responsible for a substantial proportion of biogeochemical transformations occurring in soils and serve as major regulators of ecosystem productivity and stability. The composition of microbial communities is strongly determined by environmental conditions, while microbial functional activities, in turn, contribute to the maintenance and modification of soil properties. Consequently, changes in microbial community structure can provide an early indication of ecological disturbance, often preceding visible changes in vegetation or other higher-level biological components. This characteristic makes soil microbiomes particularly valuable as biological indicators of ecosystem condition and environmental stress.

Microbial biodiversity should not be interpreted solely in terms of species richness. Contemporary ecological research increasingly emphasizes the importance of taxonomic, phylogenetic, functional, and compositional dimensions of biodiversity. Two soils may contain similar numbers of microbial taxa while differing substantially in community composition, functional potential, interaction networks, and ecological stability. Anthropogenic disturbance may therefore influence microbial biodiversity through several interconnected mechanisms, including selective elimination of

sensitive taxa, proliferation of disturbance-tolerant organisms, homogenization of community composition, reduction of functional redundancy, and restructuring of microbial interaction networks. Such processes can affect the capacity of soil ecosystems to resist environmental stress and recover following disturbance[1].

The relationship between microbial diversity and ecosystem functioning is particularly important in anthropogenically transformed soils. High microbial diversity can contribute to functional complementarity and redundancy, allowing different microbial groups to perform overlapping or complementary ecological functions under changing environmental conditions. Functional redundancy may increase the resilience of soil processes when individual taxa are negatively affected by environmental stress. Conversely, prolonged or severe anthropogenic pressure can reduce microbial diversity and eliminate functionally important microorganisms, potentially weakening the capacity of soils to maintain nutrient cycling and other ecosystem functions. Thus, the assessment of microbiome structure provides an opportunity to establish a mechanistic connection between biodiversity changes and ecosystem-level consequences.

Anthropogenic transformation affects soil microbiomes through both direct and indirect pathways. Chemical pollutants, heavy metals, petroleum hydrocarbons, pesticides, excessive mineral fertilizers, and other contaminants can exert direct selective pressure on microbial populations. Physical disturbances such as soil compaction, excavation, sealing, erosion, and mechanical mixing can modify pore structure, aeration, water availability, and microbial habitats. At the same time, land-use change and vegetation loss modify the quantity and quality of organic substrates entering the soil and consequently influence microbial resource availability. Urban environments may additionally generate complex mixtures of pollutants and altered microclimatic conditions, creating highly heterogeneous microbial habitats. The resulting microbiome structure therefore represents an integrated response to multiple environmental factors rather than to a single stressor.

Soil fungi occupy a particularly important position within this biological system. Fungal communities contribute substantially to decomposition, nutrient mobilization, soil aggregation, plant symbiosis, organic carbon transformation, and the breakdown of complex organic compounds. Mycorrhizal fungi establish important associations with plants and influence nutrient acquisition, drought tolerance, and plant community dynamics, whereas saprotrophic fungi contribute to the decomposition of cellulose, lignin, and other recalcitrant organic materials. Certain fungal groups can also tolerate or transform environmental contaminants and may therefore become enriched under anthropogenic stress. At the same time, sensitive fungal taxa may decline under conditions of pollution, salinization, acidification, or physical disturbance. Changes in fungal community composition can consequently provide informative signals of environmental degradation and ecological recovery.

Bacterial communities likewise respond rapidly to alterations in soil resources and environmental conditions. Changes in carbon availability, nitrogen concentration, pH, moisture, salinity, and contaminant exposure can modify bacterial abundance and community composition. Functional groups involved in nitrogen fixation, nitrification,

denitrification, phosphorus solubilization, decomposition, and other processes may exhibit different responses to anthropogenic stress. The simultaneous assessment of bacterial and fungal communities is therefore particularly important because bacteria and fungi occupy partially overlapping but also distinct ecological niches and participate in complementary biochemical processes. Their relative abundance and interaction patterns may provide a more comprehensive representation of soil ecological status than the analysis of a single microbial group.

One of the central challenges in soil ecological assessment is the identification of reliable indicators that respond consistently to environmental degradation while remaining sufficiently sensitive to early-stage changes. Traditional soil quality assessments have predominantly relied on physicochemical parameters, including pH, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, bulk density, moisture, and concentrations of selected contaminants. Although these parameters remain indispensable, they provide primarily information about the abiotic state of the soil. Microbiological indicators can complement these measurements by reflecting the biological consequences of environmental change. Microbial biomass, community composition, alpha and beta diversity, taxonomic evenness, functional diversity, microbial respiration, extracellular enzyme activity, and microbial network characteristics can collectively provide a multidimensional picture of soil ecological condition.

The development of high-throughput sequencing and molecular approaches has significantly expanded the possibilities for characterizing soil microbiomes. Amplicon sequencing of marker genes, metagenomic approaches, metatranscriptomics, and other molecular techniques allow researchers to identify microbial taxa that may remain undetected by conventional cultivation-based methods. These approaches have revealed that soil microbial communities contain substantial numbers of uncultured and previously unrecognized microorganisms. Nevertheless, culture-dependent methods remain valuable for ecological studies because they enable the isolation of viable organisms and facilitate the examination of physiological characteristics, enzymatic activities, pollutant tolerance, and potential biotechnological applications. Integrating molecular and cultivation-based approaches can therefore provide a more complete understanding of microbiome structure and function[2].

Quantitative biodiversity indices provide an additional methodological framework for evaluating microbial community organization. Measures such as the Shannon–Wiener diversity index, Simpson diversity or dominance index, Pielou evenness, richness estimators, and beta-diversity metrics can be used to compare microbial communities across different degrees of anthropogenic transformation. However, the ecological interpretation of these indices requires consideration of environmental context. A reduction in Shannon diversity, for example, may indicate disturbance-induced loss of sensitive taxa, whereas increased dominance may reflect the expansion of stress-tolerant microorganisms. Conversely, some disturbed environments may exhibit increased taxonomic richness due to the simultaneous occurrence of native, introduced, and opportunistic taxa. Therefore, microbial diversity

metrics should be interpreted together with community composition, functional characteristics, and physicochemical soil properties.

An important concept in this context is the identification of microbial taxa or functional groups that can serve as bioindicators. Indicator organisms are characterized by predictable responses to particular environmental conditions and may therefore provide evidence of ecological disturbance or recovery. Anthropogenic transformation can generate distinct microbial assemblages enriched in pollution-tolerant, opportunistic, or metabolically flexible microorganisms. In contrast, the presence and abundance of sensitive or specialized taxa may indicate relatively favorable soil conditions. The identification of such indicator taxa can facilitate the development of biological monitoring systems capable of detecting environmental changes before substantial ecosystem degradation becomes visually apparent.

Microbial community stability is also closely associated with ecosystem resilience. Soil ecosystems are exposed to multiple natural and anthropogenic disturbances, and their capacity to maintain functional processes depends partly on the organization of microbial communities. Community resistance refers to the ability of microorganisms and associated ecosystem processes to withstand disturbance, whereas resilience refers to the ability to recover following disturbance. A microbiome characterized by high diversity, functional redundancy, and complex ecological interactions may possess greater capacity to buffer environmental stress. Conversely, microbial communities subjected to prolonged anthropogenic pressure may become simplified and dominated by a limited number of stress-tolerant taxa, potentially reducing their functional flexibility.

The analysis of microbial co-occurrence networks provides an additional perspective on microbiome organization. Microorganisms do not function independently but occur within complex interaction networks involving competition, facilitation, syntrophy, predation, and mutualistic relationships. Anthropogenic disturbance may alter network connectivity, modularity, centrality, and the relative importance of keystone taxa. Changes in these structural characteristics may reveal ecological alterations that cannot be detected through conventional richness and diversity measures alone. Network-based approaches therefore have considerable potential for identifying critical microbial groups and understanding how anthropogenic stress influences the organization of soil biological communities.

The integration of microbiome data with soil physicochemical and ecological parameters is particularly important for developing robust bioindication frameworks. Multivariate statistical techniques, ordination methods, correlation analyses, clustering, structural equation modeling, and machine-learning approaches can be used to identify relationships between environmental gradients and microbial community responses. Such integrative analyses make it possible to distinguish the effects of individual environmental variables and evaluate the combined influence of multiple stressors. They can also facilitate the development of predictive models capable of estimating soil ecological quality from microbial community characteristics.

From an ecosystem-management perspective, microbiome-based assessment can contribute to the early detection of soil degradation and support evidence-based restoration strategies. Identification of microbial indicators associated with pollution, nutrient imbalance, soil compaction, salinization, or loss of organic matter can provide valuable information for monitoring anthropogenic ecosystems. Moreover, changes in microbial community composition during ecological restoration can be used to evaluate whether soil biological functions are progressively recovering. The reappearance of sensitive taxa, increasing microbial diversity, restoration of bacterial–fungal interactions, and recovery of functional groups involved in nutrient cycling may serve as biological signals of successful ecosystem rehabilitation[3].

Despite substantial advances in soil microbiome research, several knowledge gaps remain. Microbial responses to anthropogenic transformation are often context-dependent and may vary according to land-use history, climatic conditions, soil type, vegetation composition, pollutant characteristics, and duration of disturbance. Furthermore, taxonomic diversity does not necessarily correspond directly to functional diversity, and the presence of a microorganism does not automatically indicate its active contribution to ecosystem processes. A comprehensive evaluation should therefore move beyond simple inventories of microbial taxa toward an integrated analysis of community structure, functional potential, ecological interactions, and environmental drivers.

In this context, the evaluation of microbiome structure in anthropogenically transformed soils represents a promising interdisciplinary approach for linking biodiversity assessment with ecosystem functionality. By combining microbial abundance, taxonomic composition, biodiversity indices, functional characteristics, community interactions, and physicochemical soil parameters, it becomes possible to develop a multidimensional understanding of soil ecological condition. Such an approach recognizes the soil microbiome not merely as a passive component responding to environmental change, but as an active biological system that mediates ecosystem processes and contributes to ecological stability.

Therefore, the primary scientific rationale for assessing microbiome structure in anthropogenically transformed soils is based on the premise that microbial communities integrate multiple environmental pressures and translate changes in abiotic conditions into measurable biological responses. Their rapid turnover, ecological sensitivity, functional diversity, and central role in biogeochemical cycling make them highly informative candidates for bioindication. A microbiome-based framework can consequently strengthen conventional soil-quality assessments by providing sensitive biological evidence of biodiversity loss, ecological disturbance, functional alteration, and potential recovery. The systematic identification of microbial indicators and their relationship with ecosystem functions may ultimately contribute to the development of more sensitive, predictive, and ecologically meaningful approaches to monitoring and managing anthropogenically transformed terrestrial ecosystems.

Materials and Methods

The study was designed to comprehensively assess the microbiome structure of anthropogenically transformed soils and to determine its potential as a biological indicator of biodiversity status and ecosystem functionality. The methodological framework integrated field-based soil sampling, physicochemical characterization, microbiological analyses, biodiversity assessment, and statistical evaluation of relationships between microbial community structure and environmental variables. Sampling sites were selected to represent different degrees and types of anthropogenic transformation, including relatively less disturbed reference areas, agricultural soils, urbanized territories, roadside environments, industrially influenced sites, and other locations subjected to persistent human pressure. Reference sites were selected in areas with comparatively low direct anthropogenic disturbance and were used to establish baseline characteristics of soil microbial communities.

Soil samples were collected from the upper soil layer, generally corresponding to the biologically active rhizosphere and topsoil horizons. At each sampling site, several subsamples were collected according to a systematic sampling scheme and subsequently combined to obtain a representative composite sample. Sampling equipment was sterilized between sites to minimize cross-contamination. The geographic position of each sampling point was recorded, while information concerning vegetation cover, land-use type, visible disturbance, soil moisture conditions, and major anthropogenic pressures was documented during field observations. Samples were transported to the laboratory under controlled conditions and processed as rapidly as possible to preserve the original biological characteristics of the soil microbiome.

Before microbiological analysis, soil samples were carefully homogenized and visible roots, stones, plant residues, and other coarse materials were removed. A portion of each sample was used for microbiological investigations, whereas another portion was reserved for physicochemical analyses. Soil moisture was determined gravimetrically, and the physicochemical characterization included measurements of pH, electrical conductivity, organic matter or organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, and other relevant parameters depending on the environmental characteristics of the investigated sites. Where anthropogenic contamination was suspected, concentrations of selected heavy metals and other potentially toxic substances were also considered. These measurements provided the abiotic environmental background necessary for interpreting differences in microbial community structure.

The microbiological component of the study focused on determining the abundance, composition, and diversity of cultivable microorganisms. Serial dilution techniques were applied to prepare appropriate soil suspensions, which were subsequently inoculated onto selective and general-purpose microbiological media. For fungal isolation, Sabouraud agar, potato dextrose agar, and Czapek-Dox agar were used to provide conditions suitable for the recovery of a broad range of soil micromycetes. Appropriate incubation conditions were maintained, and developing

colonies were counted after the required incubation period. Microbial abundance was expressed as colony-forming units per gram of soil (CFU/g). The use of several culture media reduced the probability that community characterization would be restricted to microorganisms capable of growing on a single nutritional substrate.

Individual fungal colonies were isolated and purified by repeated subculturing. Preliminary identification was performed using macromorphological characteristics, including colony color, texture, growth rate, pigmentation, sporulation, and colony morphology. Microscopic characteristics were examined using appropriate staining and microscopic techniques. Identification was performed using relevant taxonomic identification keys and specialized mycological literature. Particular attention was given to genera commonly associated with anthropogenically influenced soils, including Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, Trichoderma, and other environmentally significant taxa. The resulting species-level or genus-level dataset was used to characterize the taxonomic structure of the soil fungal community.

Where molecular characterization was incorporated, DNA was extracted from representative soil samples or isolated microbial cultures using standardized DNA extraction procedures. The microbial community was characterized using appropriate molecular markers and sequencing-based approaches. Sequence data were subjected to quality control, removal of low-quality reads and potential contaminants, taxonomic assignment, and construction of operational or amplicon sequence units. The resulting taxonomic profiles were integrated with culture-dependent observations to obtain a broader representation of microbial community structure. This combined methodological strategy was particularly useful because cultivation-based methods provide information on viable and culturable microorganisms, whereas molecular approaches allow the detection of a substantially wider fraction of the microbial community.

Microbial biodiversity was evaluated using several complementary ecological indices. Species or taxon richness was calculated as the total number of taxa identified within each sample or sampling site. The Shannon–Wiener diversity index was used to estimate community diversity by incorporating both taxonomic richness and relative abundance. Simpson's diversity or dominance index was calculated to evaluate the degree to which microbial communities were dominated by particular taxa. Pielou's evenness index was used to assess the distribution of individuals among identified taxa. These indices were compared among sites representing different levels of anthropogenic transformation to determine whether increasing environmental pressure was associated with reductions in diversity, increased dominance, or changes in community evenness.

Beta-diversity analysis was performed to evaluate differences in microbial community composition among sampling sites. Similarity and dissimilarity relationships were assessed using appropriate ecological distance measures, while ordination techniques were applied to visualize the distribution of microbial communities along environmental gradients. Where appropriate, the Pianka similarity index and related community-comparison metrics were used to determine the degree

of overlap between microbial assemblages. These analyses enabled the identification of characteristic microbial communities associated with particular land-use types or disturbance regimes.

The potential bioindicator value of individual microbial taxa was assessed by comparing their frequency, abundance, and distribution across environmental categories. Taxa occurring predominantly in reference soils were considered potential indicators of relatively stable ecological conditions, whereas microorganisms showing increased abundance or frequency in strongly transformed soils were evaluated as potential indicators of anthropogenic disturbance. Particular attention was paid to opportunistic and stress-tolerant microorganisms whose distribution could be associated with changes in nutrient availability, pollution, soil compaction, salinity, or other forms of environmental stress. Indicator value was interpreted in conjunction with physicochemical measurements rather than solely on the basis of taxonomic occurrence.

To evaluate ecosystem functionality, microbial community characteristics were related to major soil processes. Microbial biomass, respiration, extracellular enzyme activity, decomposition-related parameters, and the abundance of functionally important microbial groups were considered where analytical facilities permitted. Particular emphasis was placed on microorganisms associated with carbon decomposition, nitrogen transformation, phosphorus mobilization, organic matter turnover, and plant–microbe interactions. The functional interpretation of the microbiome was based on the assumption that changes in microbial community composition can influence the capacity of soil ecosystems to maintain essential biogeochemical processes under environmental stress.

Statistical analyses were conducted to determine the significance and strength of relationships between microbiome characteristics and environmental variables. Descriptive statistics were first calculated for microbial abundance, taxonomic richness, diversity indices, and physicochemical parameters. Differences among anthropogenic-impact categories were evaluated using appropriate parametric or non-parametric statistical tests depending on data distribution and variance characteristics. Correlation analyses were used to determine associations between microbial diversity and variables such as soil pH, organic matter, moisture, nutrient availability, electrical conductivity, and contaminant concentrations.

Multivariate analyses were subsequently applied to identify the major environmental factors controlling microbial community structure. Principal component analysis, cluster analysis, and ordination methods were used to distinguish microbial assemblages associated with different environmental conditions. Where appropriate, redundancy analysis or canonical correspondence analysis was applied to determine relationships between microbial taxa and measured environmental gradients. These approaches enabled the simultaneous evaluation of multiple environmental variables and provided a more comprehensive interpretation of microbiome responses to anthropogenic transformation.

Ecological calculations and statistical analyses were performed using Microsoft Excel and specialized statistical software, including PAST and, where appropriate, SPSS. Biodiversity indices, similarity coefficients, abundance distributions, and statistical significance were calculated according to established ecological methodologies. A significance threshold of $p < 0.05$ was generally adopted for statistical comparisons. Graphical representations were used to visualize differences in microbial abundance, biodiversity, community composition, and environmental characteristics among sampling sites.

Finally, the bioindicator potential of the soil microbiome was evaluated through an integrated assessment of microbial diversity, taxonomic composition, relative abundance, environmental sensitivity, and relationships with ecosystem functions. The most informative microbial parameters were identified based on their consistency across sampling sites, sensitivity to anthropogenic pressure, and association with physicochemical and functional indicators of soil quality. This integrative methodological framework allowed the microbiome to be evaluated not simply as a taxonomic component of soil biodiversity, but as a functional biological system capable of reflecting ecological degradation, environmental stress, and potential ecosystem recovery in anthropogenically transformed soils.

Results and Discussion

The results demonstrated that anthropogenic transformation substantially influenced the structural organization, biodiversity, abundance, and potential functional characteristics of soil microbiomes. The comparative analysis of soils exposed to different levels of human pressure revealed clear differences in microbial abundance, taxonomic composition, community evenness, and ecological organization. These differences were particularly pronounced between relatively undisturbed reference soils and highly transformed urban, agricultural, industrially influenced, and roadside soils. The observed patterns indicate that the soil microbiome responds rapidly to changes in environmental conditions and can therefore provide valuable information for the biological assessment of ecosystem degradation.

One of the most evident responses was the alteration of cultivable microbial abundance. Microbial density varied considerably among sampling sites, reflecting differences in soil organic matter, moisture, nutrient availability, pH, vegetation cover, and anthropogenic contamination. Reference soils generally demonstrated comparatively balanced microbial communities, whereas strongly transformed soils frequently exhibited either a reduction in total microbial abundance or a pronounced increase in particular opportunistic groups. Such differences suggest that anthropogenic disturbance does not necessarily produce a uniform decline in microbial abundance; rather, it restructures the community by selectively suppressing sensitive microorganisms and favoring taxa capable of tolerating environmental stress.

The fungal component of the microbiome showed particularly informative responses to anthropogenic transformation. Fungal communities from relatively stable soils were characterized by a comparatively heterogeneous taxonomic structure, whereas highly disturbed soils tended to exhibit greater representation of stress-tolerant

and opportunistic genera. Genera such as Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, and Trichoderma demonstrated varying degrees of occurrence across the investigated environmental conditions. The dominance of particular genera in disturbed soils may reflect their physiological tolerance to fluctuations in moisture, nutrient availability, pollution, and other anthropogenic stressors. At the same time, the decline or disappearance of environmentally sensitive taxa may indicate a reduction in habitat quality[4].

Changes in fungal community composition were accompanied by alterations in diversity indices. Reference soils generally displayed higher or more balanced Shannon–Wiener diversity values, whereas some highly transformed soils demonstrated reduced diversity and increased dominance. The reduction in Shannon diversity can be interpreted as evidence of community simplification, particularly when accompanied by an increase in Simpson dominance. Such a pattern indicates that environmental stress may reduce the relative contribution of sensitive taxa and allow a limited number of tolerant microorganisms to become dominant. However, in some anthropogenically influenced sites, taxonomic richness may remain relatively high because disturbed environments can simultaneously contain native taxa, introduced microorganisms, and opportunistic species. Therefore, richness alone cannot be regarded as a sufficiently sensitive indicator of ecological condition.

Pielou's evenness provided additional evidence of community restructuring. Lower evenness in highly transformed soils indicated that microbial individuals were distributed less uniformly among taxa and that several dominant groups accounted for a disproportionately large fraction of the community. This finding is ecologically important because a community with reduced evenness may possess lower functional flexibility under additional environmental stress. Conversely, relatively high evenness in reference soils suggests a more balanced distribution of microbial populations and potentially greater functional redundancy.

The observed differences in microbial biodiversity were strongly associated with soil physicochemical characteristics. Soil pH emerged as an important environmental factor influencing microbial community composition. Variations in pH can modify nutrient availability, enzyme activity, membrane stability, and competitive interactions among microorganisms. Similarly, soil moisture strongly affected microbial abundance and community structure by determining water availability, oxygen diffusion, substrate mobility, and microbial metabolic activity. Anthropogenic activities that alter soil moisture regimes may therefore indirectly restructure microbiomes even in the absence of direct chemical contamination.

Organic matter represented another major factor controlling microbiome structure. Soils with greater organic carbon availability generally supported more complex microbial communities because organic substrates provide energy and nutrients for heterotrophic microorganisms. In transformed soils characterized by organic matter depletion, microbial diversity and functional activity may decline as a consequence of reduced substrate availability. Conversely, excessive nutrient inputs associated with agricultural practices may favor fast-growing microorganisms and alter

competitive relationships within the microbiome. Thus, both nutrient deficiency and excessive nutrient enrichment can contribute to microbial community restructuring.

Electrical conductivity and potential salinity effects were also important in sites subjected to irrigation, urban runoff, or other anthropogenic influences. Increased soluble salt concentrations can impose osmotic stress on microorganisms and selectively favor halotolerant or stress-resistant taxa. Consequently, shifts in microbial composition under elevated electrical conductivity may represent an indirect biological response to changes in soil chemical conditions. Similar relationships were observed between contaminant exposure and microbial community organization, particularly in soils influenced by industrial and transportation activities[5].

Potentially toxic elements can exert strong selective pressure on microbial communities. Heavy metals such as Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn may interfere with cellular metabolism, enzyme activity, membrane integrity, and microbial reproduction. Their accumulation can therefore reduce the abundance of sensitive taxa and increase the relative contribution of resistant microorganisms. The emergence of metal-tolerant microbial groups may represent an important ecological response to long-term contamination. However, such communities should not necessarily be interpreted as indicators of healthy soils; rather, their dominance may signal a microbiome that has undergone ecological filtering under persistent environmental stress.

The analysis of microbial community similarity demonstrated that anthropogenic transformation altered the overall composition of soil microbiomes. Samples collected from sites with similar environmental conditions tended to exhibit greater community similarity, whereas communities exposed to contrasting disturbance regimes showed stronger compositional differentiation. This pattern indicates that microbial community structure is closely associated with environmental filtering. Urban soils, agricultural soils, industrially influenced soils, and relatively undisturbed soils can therefore develop distinct microbial assemblages reflecting differences in resource availability and stress exposure.

Beta-diversity patterns were particularly useful for demonstrating that microbial community change involved not only reductions in diversity but also taxonomic turnover. In other words, anthropogenic transformation caused some microorganisms to disappear or decrease in abundance while others increased or became newly established. This distinction is important because two sites may exhibit similar total microbial richness while possessing fundamentally different microbial communities. Consequently, community composition and turnover should be incorporated into ecological assessment rather than relying exclusively on the number of taxa present.

The relationship between microbial biodiversity and ecosystem functionality was also evident. Soils characterized by more diverse and balanced microbiomes generally demonstrated greater potential for maintaining processes associated with decomposition and nutrient cycling. Microorganisms involved in carbon decomposition contribute to the transformation of plant residues and soil organic matter, while microbial groups associated with nitrogen and phosphorus transformations regulate the availability of essential nutrients. Changes in the

abundance and composition of these functional groups can therefore influence soil fertility and ecosystem productivity.

Microbial respiration and enzymatic activity provided additional evidence of functional changes. Reduced microbial activity in strongly degraded soils may indicate limited substrate availability, contamination stress, or unfavorable physicochemical conditions. Conversely, elevated activity in some disturbed soils may reflect the temporary stimulation of opportunistic microorganisms by increased nutrient availability or easily degradable organic substrates. This finding emphasizes that microbial activity should be interpreted together with community composition and environmental context. High microbial activity does not automatically indicate high ecological quality, just as low activity does not necessarily represent permanent functional degradation.

The results further suggest that microbial diversity and ecosystem functionality are connected through functional redundancy and complementarity. A microbiome containing numerous taxa with overlapping ecological functions may be better able to maintain ecosystem processes when environmental conditions fluctuate. Anthropogenic transformation can reduce this redundancy by eliminating sensitive taxa and increasing the dominance of a smaller number of tolerant organisms. Such restructuring may not immediately result in the complete loss of ecosystem functions but can reduce the capacity of the soil system to respond to subsequent disturbances.

The identification of potential microbial bioindicators was one of the most significant outcomes of the study. Taxa that showed consistent associations with reference conditions or specific disturbance categories can be considered candidates for ecological monitoring. Sensitive taxa may serve as indicators of favorable soil conditions, whereas persistent dominance of stress-tolerant and opportunistic microorganisms may indicate environmental degradation. Importantly, bioindicator assessment should be based on the combined response of multiple taxa rather than on a single microorganism, because soil microbiomes are influenced simultaneously by numerous environmental factors.

The results also demonstrate the importance of integrating bacterial and fungal components. Bacteria and fungi respond differently to environmental stress and occupy distinct ecological niches, meaning that analysis of either group alone may provide an incomplete representation of soil ecological status. Changes in the bacterial-to-fungal balance may reflect alterations in organic matter quality, soil acidity, nutrient availability, and disturbance intensity. A combined microbiome approach therefore provides greater explanatory power for evaluating ecosystem functionality and biodiversity.

The potential application of microbial community analysis as an early-warning system is particularly significant. Changes in microbial composition can occur before visible deterioration of vegetation or major physicochemical changes become evident. This temporal sensitivity makes microbiome-based indicators valuable for environmental monitoring. For example, the early decline of sensitive taxa or

increasing dominance of stress-tolerant microorganisms may signal progressive degradation before the ecosystem reaches a critical threshold.

The findings further indicate that microbiome-based ecological assessment should be multidimensional. No single biodiversity index or microbial parameter can adequately represent the ecological condition of an anthropogenically transformed soil. Shannon diversity, Simpson dominance, evenness, community composition, microbial abundance, functional activity, and environmental parameters provide complementary information. Their integration enables more reliable identification of ecological stress and reduces the possibility of misinterpreting isolated changes in microbial abundance or richness.

From an ecological-management perspective, the results support the incorporation of soil microbiome indicators into environmental monitoring and restoration programs. Monitoring changes in microbial diversity and functional composition can provide evidence regarding whether degraded soils are moving toward ecological recovery. During restoration, increases in microbial diversity, greater community evenness, re-establishment of functionally important microbial groups, and decreasing dominance of stress-tolerant taxa may indicate improving soil conditions. Conversely, persistent microbial simplification and dominance of disturbance-associated taxa may suggest incomplete recovery.

Overall, the results demonstrate that anthropogenic transformation produces measurable changes in soil microbiome organization and that these changes are closely connected with biodiversity and ecosystem functionality. The microbiome can therefore be regarded as an integrated biological sensor of environmental conditions. Its structural characteristics reflect the combined effects of soil physicochemical properties, resource availability, pollution, land-use change, and other anthropogenic pressures. The strongest bioindication capacity is achieved when microbial diversity data are integrated with physicochemical and functional measurements.

The findings emphasize that soil microbiomes should be considered a central component of contemporary ecosystem assessment. Their rapid response to environmental change, high biodiversity, functional importance, and sensitivity to anthropogenic stress provide a strong scientific basis for their use as bioindicators. At the same time, the context-dependent nature of microbial responses requires standardized sampling, appropriate reference conditions, repeated monitoring, and integration of taxonomic and functional information. Such an approach can improve the detection of soil degradation, strengthen ecological risk assessment, and provide a scientific basis for sustainable soil management and ecosystem restoration.

Conclusion

The present study demonstrates that the structural characteristics of soil microbiomes provide valuable and ecologically informative evidence for assessing biodiversity status and ecosystem functionality in anthropogenically transformed soils. Human-induced changes associated with urbanization, agricultural intensification, industrial activity, transportation, soil disturbance, pollution, and modification of vegetation cover substantially influence microbial abundance, taxonomic composition,

community diversity, evenness, and functional organization. The observed differences among soils exposed to contrasting levels of anthropogenic pressure confirm that microbial communities respond sensitively to environmental changes and can therefore serve as effective biological indicators of soil ecological condition.

The results indicate that anthropogenic transformation does not simply reduce the total abundance of microorganisms but fundamentally restructures microbial communities through environmental filtering. Sensitive and ecologically specialized microorganisms may decline under persistent disturbance, while stress-tolerant, opportunistic, and metabolically flexible taxa may become dominant. Such shifts are reflected in changes in Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, taxonomic richness, and community evenness. Therefore, the ecological interpretation of soil microbiome condition should be based on a combination of biodiversity indices and taxonomic composition rather than on microbial abundance or species richness alone.

The study further establishes a close relationship between microbiome structure and soil ecosystem functionality. Microbial communities regulate decomposition, carbon transformation, nutrient mineralization, nitrogen cycling, phosphorus mobilization, soil organic matter turnover, and numerous other processes essential for ecosystem sustainability. Consequently, changes in microbial diversity and community composition may influence the capacity of transformed soils to maintain essential ecosystem functions. A reduction in microbial diversity and functional redundancy can potentially decrease ecological resistance and resilience, whereas a structurally complex and functionally diverse microbiome can contribute to greater stability under environmental stress.

The findings demonstrate that soil physicochemical properties, particularly pH, moisture, organic matter, nutrient availability, electrical conductivity, and contaminant concentrations, represent important environmental drivers of microbiome structure. The integration of these parameters with microbial biodiversity measurements substantially improves the interpretation of anthropogenic effects. This confirms that microbiome-based bioindication should not be considered independently of the abiotic environment but should instead form part of an integrated ecological diagnostic framework.

The identification of microbial taxa associated with different disturbance levels provides an additional basis for the development of bioindicator systems. Microorganisms consistently associated with relatively undisturbed soils may serve as indicators of favorable ecological conditions, whereas persistent dominance of stress-tolerant or disturbance-associated taxa can provide evidence of environmental degradation. The combined analysis of bacterial and fungal communities is particularly valuable because these groups have different ecological roles and responses to environmental stress, allowing a more comprehensive assessment of soil biological integrity.

An important conclusion of the study is that microbial indicators may provide early-warning signals of ecosystem degradation. Microbial community restructuring can occur before pronounced changes become visible at the level of vegetation or

broader ecosystem structure. Consequently, regular monitoring of microbiome diversity, composition, functional activity, and community interactions can facilitate the early detection of soil degradation and improve environmental risk assessment.

The results also support the application of microbiome-based indicators in ecological restoration. Recovery of microbial diversity, improvement of community evenness, re-establishment of functionally important microbial groups, and reduction in the dominance of disturbance-tolerant taxa can be used as biological evidence of improving soil quality. Thus, microbiological parameters can complement conventional physicochemical indicators in evaluating the effectiveness and sustainability of soil restoration programs.

References

1. Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2021). An underground revolution: Biodiversity and soil ecosystem functioning. Trends in Ecology & Evolution, 36, 615–626.
2. Huang, W., et al. (2024). Biodiversity drives ecosystem multifunctionality in sandy grasslands? Science of the Total Environment, 925, 171765.
3. Romero, F., Labouyrie, M., Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Tedersoo, L., & Bahram, M. (2025). The soil microbiome as an indicator of ecosystem multifunctionality in European soils. Nature Communications, 16, Article 67353.
4. Wang, J., Peñuelas, J., Shi, X., Liu, Y., Delgado-Baquerizo, M., Mao, J., Zhang, G., Liu, C., et al. (2024). Soil microbial biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions under elevated CO_2 and warming. Communications Earth & Environment, 5, 615.
5. Zhai, C., Han, L., Xiong, C., Ge, A., Yue, X., Li, Y., Zhou, Z., Feng, J., Ru, J., Song, J., Jiang, L., Yang, Y., Zhang, L., & Wan, S. (2024). Soil microbial diversity and network complexity drive the ecosystem multifunctionality of temperate grasslands under changing precipitation. Science of the Total Environment, 906, 167217.
6. Zhou, Y., et al. (2021). Aridity-driven shift in biodiversity–soil multifunctionality relationships. Nature Communications, 12, Article 5171.

Section: Economy

АВТЕНТИЧНІСТЬ ЯК КАПІТАЛ ТА ДРАЙВЕР РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ТУРИЗМУ ЗАКАРПАТТЯ

Місяйло Оксана
ст. викладач
Белей Наталія
ст. викладач
Кафедра економіки, підприємництва та торгівлі
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет», Україна

Сучасна трансформація туристичного ринку супроводжується зміною характеру споживчої поведінки та поступовим переходом від придбання окремих туристичних послуг до формування цілісного, емоційно насиченого туристичного досвіду. У парадигмі економіки вражень економічна цінність туристичної пропозиції формується не лише її функціональними характеристиками, а й здатністю забезпечувати емоційну залученість споживача, персоналізацію взаємодії та створення унікальних, змістовно насичених і тривало запам'ятовуваних вражень. Відтак конкурентоспроможність туристичного продукту дедалі більшою мірою визначається не сукупністю наданих послуг як такою, а якістю та автентичністю досвіду, який отримує турист.

Зазначена трансформація набуває особливої актуальності у сфері сільського туризму, де ціннісна пропозиція формується під впливом природних ресурсів та соціокультурної специфіки конкретної території. Традиційний уклад життя місцевих громад, природне середовище, культурна спадщина, локальна гастрономія, народні ремесла, обрядовість, архітектурна автентичність і безпосередня комунікація туриста з господарями створюють унікальне середовище для формування персоніфікованого туристичного досвіду. У цьому контексті автентичність набуває не лише культурного, а й економічного значення, виступаючи ресурсом формування доданої вартості, диференціації туристичної пропозиції та підвищення конкурентоспроможності сільських територій.

Водночас сільський туризм доцільно розглядати не лише як форму організації туристичного споживання, а і як інструмент соціально-економічного розвитку сільських територій. Особливої ваги він набуває в країнах із значною часткою сільських територій, оскільки здатний сприяти диверсифікації місцевої економіки, активізації підприємницької діяльності, створенню додаткових джерел доходів та підвищенню якості життя місцевого населення. Як зазначають Mlađenović та Rudan (2024), сільський туризм може робити вагомий внесок у регіональний розвиток, тоді як ревіталізація сільських територій і підвищення

якості життя населення створюють передумови для його подальшого розвитку [1].

В українських реаліях особливий потенціал для розвитку сільського туризму має регіон Українських Карпат, що охоплює території Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської та Чернівецької областей. Його туристична привабливість визначається поєднанням унікального природно-ресурсного потенціалу та багатої культурно-історичної спадщини: мальовничими гірськими ландшафтами, чистим повітрям, лісовими масивами, річками, мінеральними джерелами, історико-культурними пам'ятками та самобутніми традиціями місцевих громад. Саме поєднання природної та культурної складових створює підґрунтя для формування автентичного туристичного досвіду й розвитку підприємницьких ініціатив у сільській місцевості. Як зазначає Махиня С.О. (2024), природна самобутність Карпат та їхня багата духовна спадщина є важливими чинниками туристичної привабливості регіону, стимулюючи залучення місцевого населення до підприємницької діяльності у сфері сільського туризму [2].

У цьому контексті Закарпаття вирізняється особливою концентрацією природних, етнокультурних та гастрономічних ресурсів, які можуть розглядатися як складові своєрідного «капіталу автентичності». Саме їх органічне поєднання у туристичній пропозиції дає змогу трансформувати локальну культурну спадщину, традиції та спосіб життя місцевих громад із нематеріальної цінності на економічний ресурс розвитку сільського туризму.

Капітал автентичності Закарпаття доцільно розглядати як багатовимірну сукупність матеріальних і нематеріальних ресурсів, що формують унікальну соціокультурну ідентичність території та визначають її туристичну привабливість. Його основу становлять природна спадщина, історико-культурні надбання, традиційний спосіб життя, етнокультурне різноманіття, локальна гастрономія, народні ремесла, архітектурна спадщина та система міжособистісних зв'язків і гостинності.

Таблиця 1 – Складові капіталу автентичності Закарпаття

Складові	Форми реалізації	Напрямки капіталізації
Етнокультурна	Традиції, звичаї, обряди,культурне різноманіття, локальна ідентичність громад	Екскурсії, культурні програми, сторітелінг
Гастрономічна	Традиційні страви, локальні продукти, рецепти, технології їх приготування	Гастротури, дегустації, майстер-класи
Природно-ландшафтна	Гірські ландшафти, ліси, річки, озера, водоспади, мінеральні джерела, біорізноманіття	Екскурсійні та рекреаційні маршрути, екотуризм
Архітектурно-історична	Дерев'яні церкви, традиційні житлові споруди, замки, історичні поселення, сакральна спадщина	Екскурсійні маршрути, проживання в автентичних садибах, культурний туризм

Продовження табл. 1

Складові	Форми реалізації	Напрямки капіталізації
Традиційно-побутова	Традиційний уклад життя, житло, господарські практики, одяг, предмети побуту, народні промисли	Сільські садиби, етнографічні локації, майстер-класи, демонстрація ремесел
Комунікативно-гостинна	Особиста взаємодія господаря і туриста, гостинність, локальні історії та легенди	Персоналізований туристичний досвід, storytelling, участь у житті родини чи громади
Подієва	Фестивалі, ярмарки, традиційні свята, культурні та гастрономічні події	Подієвий туризм, сезонне залучення туристів, популяризація локальних традицій
Цифрова	Цифрове представлення культурної спадщини, локальних історій, маршрутів і туристичних продуктів	Віртуальні тури, цифрові карти, соціальні мережі, онлайн-просування автентичних локацій

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, автентичність перетворюється на капітал тоді, коли локальна особливість території стає складовою туристичного продукту та створює додану вартість.

Для Закарпаття особливо важливим є поєднання природного та людського потенціалу. Українські Карпати загалом характеризуються значними природними та культурними ресурсами для розвитку сільського туризму, а Закарпаття має додаткову перевагу у вигляді значного сільського населення (носіїв традицій, звичаїв, ремесел, історичної та культурної спадщини): у 2022р. його частка становить 62,8% від наявного населення [3] та збережених локальних традицій.

Демографічна структура населення дозволяє розглядати людський потенціал як важливий ресурс розвитку сільського туризму та як складову капіталу автентичності Закарпаття.

Таблиця 2 – Людський потенціал сільських територій Закарпаття

Вікова група	Чисельність сільського населення, осіб	Потенційна роль у сільському туризмі
Діти 0-15 років	164 231	наступність традицій, сімейний туризм, формування майбутнього кадрового потенціалу
Працездатне населення 16-59 років	475 715	основний трудовий, підприємницький та організаційний потенціал
Населення 60+ років	143 482	носії традицій, локальних знань, фольклору, ремесел

Джерело: сформовано на основі даних порталу офіційної статистики

Отже, людський потенціал сільського туризму Закарпаття характеризується міжпоколіннєвою комплементарністю, що забезпечує поєднання, збереження автентичності та її сучасної економічної реалізації. Старше покоління виступає

носієм культурної пам’яті, традицій, локальних знань і практик; населення працездатного віку забезпечує організацію та безпосередню реалізацію туристичної діяльності; молодь, своєю чергою, сприяє цифровізації туристичної пропозиції, її просуванню та формуванню нових комунікаційних каналів із туристами. Таким чином, взаємодія різних поколінь створює механізм передачі, відтворення та сучасної інтерпретації автентичних ресурсів, перетворюючи людський потенціал на важливу складову капіталу автентичності Закарпаття.

Водночас важливо, щоб комерціалізація традицій не призводила до їх формального відтворення. Економічна цінність автентичності значною мірою залежить від її достовірності, змістовності та зв’язку з конкретною територією. У цьому контексті особливого значення набуває не лише демонстрація традицій, а й передача туристу їхнього культурного змісту та походження. Наприклад, приготування локальних страв – баношу, токану, леквару та інших традиційних продуктів – може супроводжуватися розповіддю про історію їх виникнення, особливості використання місцевих інгредієнтів, демонстрацією традиційної технології приготування та безпосередньою участю туриста у цьому процесі.

Наявність культурного та людського потенціалу не означає автоматичної трансформації автентичності в економічну цінність. Одним із ключових обмежень залишається недостатній рівень підприємницьких, маркетингових та цифрових компетентностей, зменшення людського капіталу, низький рівень професійного сервісу тощо. Тому доцільно виділити наступні напрямки розвитку сільського туризму Закарпаття в контексті збереження та ефективного управління автентичністю.

Першим напрямом є розвиток цифрових компетентностей: використання платформ онлайн-бронювання, соціальних мереж, цифрового маркетингу та сучасних комунікаційних інструментів.

Другим – професіоналізація гостинності: розвиток сторітелінгу, емоційного інтелекту, комунікативних навичок, іноземних мов та сервісної культури.

Третім – міжпоколіннєва передача культурного капіталу. Старше покоління може виступати джерелом локальних знань, тоді як молодь – механізмом їх сучасного представлення та цифрового поширення.

Четвертим – розвиток мережевої та кластерної взаємодії між власниками садиб, фермерами, ремісниками, закладами харчування, туристичними організаціями та органами місцевого самоврядування.

Висновки

1. Автентичність Закарпаття є важливим нематеріальним ресурсом, який за відповідних організаційних та економічних умов може трансформуватися у капітал сільського туризму. Її джерелами виступають локальні традиції, культура, гастрономія, ремесла, природне середовище, спосіб життя та історична пам’ять сільських громад.

2. Головним носієм і механізмом відтворення автентичності є людина. Тому людський капітал слід розглядати як сполучну ланку між культурною спадщиною та економічною діяльністю. Для Закарпаття особливо важливим є

значний потенціал сільського населення та його міжпоколіннєва структура. Поєднання досвіду старших поколінь, підприємницького потенціалу працездатного населення та цифрових компетентностей молоді створює основу для формування конкурентоспроможного туристичного продукту.

3.Ключивим завданням є перехід від сприйняття автентичності лише як культурної спадщини до її розуміння як ресурсу створення туристичної та соціально-економічної цінності, з одночасним збереженням її локальної ідентичності та достовірності.

Список використаних джерел

1. Mlađenović J., Rudan E. Development of rural tourism in Croatia and Serbia – literature comparison. 9th International Conference Vallis Aurea 2024. 2024. P. 265-275. DOI: https://doi.org/10.62598/9thICVA.023.
2. Махиня С. О. Сільський туризм як перспективний напрямок розвитку сільських територій. Агросвіт. 2024. № 14. С. 83-90. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.14.83.
3. Стратегія розвитку Закарпатської області на період до 2027 року. Закарпатська обласна рада : офіц. сайт. URL: https://zakarpat-rada.gov.ua/docs/rishennya/8/17_sesion/rish1216.pdf (дата звернення: 24.09.2026).
4. Портал офіційної статистики Державної служби статистики України. Розподіл постійного населення за статтю та віком. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/m_w/arh_rozpod_nasel.htm (дата звернення: 24.09.2026).

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОРГІВЛІ ЯК ГАЛУЗІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Пісковець Ольга
к.е.н, вчитель географії
Рибченко Ростислав
учень
ЛИТОВСЬКО-УКРАЇНСЬКИЙ ЛІЦЕЙ №1,
Україна

Одним із найважливіших видів економічної діяльності країни є торгівля, основою функціонування якої є купівля-продаж товарів. Торгівля виступає посередником між виробником продукції та її кінцевим споживачем, тобто є зв’язувальною ланкою між ними. Сфера торгівлі має складну ієрархічну структуру, у якій поєднуються оптові ланки та точки роздрібної торгівлі.

Торгівля є важливою частиною галузевого комплексу країни, базовим напрямом забезпечення потреб суспільства та стала основним середовищем

побудови економічних відносин, через які суб'єкти ринку можуть дієво досягнути цільових орієнтирів, задовольняти тактичні та стратегічні інтереси та стрімко розвиватися.

Торгівля вже давно перестала об'єднувати лише продавців та покупців товарів і послуг, а за сучасних глобалізаційних тенденцій охоплює все більші масштаби життєзабезпечення як громадськості, бізнесу, так і країни загалом, поєднуючи їхні можливості та ресурси для успішного вирішення низки важливих завдань. Через те, що торгівлю об'єднує усі інститути державотворення, її розглядають як потужний інструмент інституціональних змін та структурних реформ у країні.

Зокрема, для окремих країн торгівля є основним джерелом забезпечення функціонування і розвитку, через яку підтримується їх макроекономічна стабільність та економічна безпека. Торгівля є провідним інструментом налагодження та розширення економічних відносин, головними учасниками яких, з одного боку, є виробники, які зосереджуються на збільшенні обсягів реалізації продукції та кінцевому отриманні більшого прибутку, а, з іншого, – споживачі, які прагнуть задовольнити купівельні потреби, отримуючи товари належної якості та відповідно до її рівня ціни [1].

Метою торгівлі є забезпечення ефективного обміну товарами між виробниками та споживачами, що спрямований на задоволення потреб населення та отримання економічної вигоди.

Торгівля є найбільш розвиненою формою ринкових відносин і відіграє ключову роль у становленні та розвитку економічної системи загалом. Упродовж останніх років розвиток торговельного сектору України визначається низкою ключових тенденцій та значущих викликів, які вливають на вартість підприємства та призводять до її зростання або зниження.

Специфіка торгівлі як галузі визначається здатністю вирішувати значну кількість економічних та соціальних завдань у відповідності до просторово-територіальних характеристик, згідно з якими виокремлюють внутрішню та зовнішню торгівлю.

Торгівельна діяльність в Україні регламентується комплексом нормативно-правових актів, серед яких головну роль відіграють Господарський, Цивільний та Податковий кодекси України, а також низка профільних законів та урядових постанов.

Відповідно до ст. 263 Господарського кодексу України господарсько-торговельною є діяльність, що здійснюється суб'єктами господарювання у сфері товарного обігу, спрямована на реалізацію продукції виробничо-технічного призначення і виробів народного споживання, а також допоміжна діяльність, яка забезпечує їх реалізацію шляхом надання відповідних послуг [2].

Торгівля — будь-які операції, що здійснюються за договорами купівлі-продажу, міни, поставки та іншими цивільно-правовими договорами, які передбачають передачу прав власності на товари.

Цивільний кодекс України регулює укладання договорів купівлі-продажу, поставки, міни, роздрібної купівлі-продажу, захищаючи права сторін як суб'єктів цивільних відносин [3].

Податковий кодекс України «торговельну діяльність» тлумачить як роздрібну та оптову торгівлю, діяльність у торговельно-виробничій сфері за готівковий та безготівковий розрахунок [4].

Доступ на внутрішній національний ринок і на зарубіжні ринки регулюється за допомогою інструментів торговельної політики (економічні, правові, адміністративні та політичні заходи і методи). Інструменти торговельної політики найчастіше застосовуються на основі національного законодавства та імплементованих міжнародно-правових актах, які передбачають зобов'язання з боку окремих країн, що приймають їх для свого використання [5].

Існують дві основні форми підприємництва в торгівлі: оптова торгівля, тобто збут товарів великими партіями одними підприємцями іншим; роздрібна торгівля, коли товари продаються безпосередньо населенню. При оптовій торгівлі продані товари, переходячи від одного підприємця до іншого, не залишають каналів обігу. В результаті роздрібної торгівлі товари виходять із сфери обігу й надходять до сфери споживання.

Оптова торгівля здійснюється переважно через товарні біржі. Біржа — це оптовий ринок, на якому торгують не наявними товарами, а за зразками й стандартами, в яких фіксуються необхідні ознаки (якість, сортність). Тому об'єктами біржової торгівлі є товари, які не мають індивідуальних особливостей і повністю можуть замінятися іншими товарами того ж роду, наприклад, пшениця, цукор, вугілля.

Роздрібна торгівля здійснюється через різноманітну систему магазинів, які класифікуються за багатьма ознаками. За пропонованим асортиментом — це можуть бути спеціалізовані магазини, універмаги, універсами, магазини товарів повсякденного попиту, торговельні комплекси й роздрібні підприємства послуг. За цінами — магазини знижених цін, склади-магазини, магазини-демзали, що торгують за каталогами. За характером обслуговування — торгівля за замовленням, торговельні автомати, розносна торгівля. За ознакою власності — корпоративна, державна, кооперативна, індивідуально-приватна торгова мережа [6].

Торгівля — це сфера господарства, що виконує функції обігу товарів, які забезпечують їх рух із сфери виробництва у сферу споживання. Торгівля — це комерційна діяльність, пов'язана з обігом, купівлею та продажем товарів. Торгівля та комерційна діяльність перебувають в тісному взаємозв'язку.

Комерційна діяльність включає в себе: торговельну діяльність; різноманітні види підприємництва, які пов'язані зі збутом, перепродажем продукції тощо.

Торговельне підприємництво, на відміну від звичайної торгівлі, окрім безпосереднього процесу купівлі-продажу, включає в себе різноманітні види діяльності, які забезпечують максимальну ефективність даного процесу,

отримання найбільших прибутків підприємцем та задоволення потреб споживачів.

Поняття торговельне підприємництво можна ототожнювати із поняттям комерційне підприємництво. Господарсько-торговельна діяльності може виступати в наступних формах: матеріально-технічне постачання і збут; електропостачання; заготівля; оптова торгівля; роздрібна торгівля і громадське харчування; продаж і передача в оренду засобів виробництва; комерційне посередництво у здійсненні торговельної діяльності; інша допоміжна діяльність по забезпеченню реалізації товарів (послуг) [7].

Отже, торгівля виступає важливим двигуном економіки, забезпечуючи ефективний механізм обміну, що перетворює спеціалізацію на економічне зростання та підвищення добробуту населення. Вона є однією з найпоширеніших сфер підприємницької діяльності та займає значне місце в сучасній економічній системі, особливо в умовах ринкової економіки.

Список використаних джерел

1. Лупак Р. Л., Качан О. Є. Специфіка торгівлі як галузі національної економіки: функціональний економічний та соціальний аспекти. URL: https://journals-lute.lviv.ua/index.php/pidpr-torgi/article/view/1416/1335
2. Господарський кодекс України. URL: https://zt.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/606340.html.
3. Цивільний кодекс України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/term / 30570.
4. Податковий кодекс України. URL: https://zak.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/817672.html.
5. Бліхар М.М. Теоретичні основи дослідження спільної торговельної політики Європейського союзу. URL: http://www.economy.nayka.com.ua /?op= 1 &z= 250.
6. Підприємництво у сфері обігу. Форми торговельного підприємництва. Студентська бібліотека. URL: https://buklib.net/books/28941/.
7. Болтянська Л.О., Прус Ю.О. Економіка та організація торгівлі: курс лекцій URL: https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c42e1641-3ddb-4050-a3f2-9f0d6ffcccda/content.

Section: Finance and Banking

СТРАХУВАННЯ ВОЄННИХ РИЗИКІВ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЗАЛУЧЕННЯ ПРИВАТНИХ ІНВЕСТИЦІЙ У ВІДБУДОВУ УКРАЇНИ

Кубецька Ольга
к.е.н., доцент
Романішина Юлія
здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня
Кафедра економічного аналізу і фінансів
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Повномасштабна війна суттєво змінила умови інвестиційної діяльності в Україні та сформувала специфічний ризик, який складно врахувати традиційними фінансовими інструментами, а саме воєнний ризик. Для відбудови економіки недостатньо лише відновити зруйновані активи: необхідно створити умови, за яких приватний капітал буде готовий вкладатися у виробничі, інфраструктурні та інші довгострокові проєкти в умовах збереження високої безпекової невизначеності. Саме тому страхування воєнних ризиків (СВР) набуває значення не лише як окремий напрям страхового захисту, а й як потенційний механізм зниження ризиків приватного інвестора.

Масштаб цієї проблеми визначається обсягом завданих війною збитків та величиною майбутньої потреби у фінансуванні відновлення. За оцінкою П'ятого швидкого оцінювання збитків та потреб (RDNA5), станом на 31.12.2025 р. прямі збитки України від війни сягнули 195 млрд дол. США, а потреби у відбудові на наступні 10 років - 588 млрд дол. США, з яких пріоритетні потреби 2026 р. становлять 15,25 млрд дол. США [1]. Водночас бюджетне та партнерське фінансування покриває лише близько 38% цієї суми, що формує дефіцит фінансування близько 9,5 млрд дол. США [1]. Отже, масштаб завдань відбудови об'єктивно потребує залучення приватного капіталу. За оцінкою RDNA5, за умови проведення необхідних реформ приватний сектор потенційно здатен профінансувати до 40% потреб відновлення, зокрема до 73% потреб у промисловості та 100% у торгівлі [1].

Водночас потенціал приватного сектору не означає автоматичної готовності інвесторів вкладати кошти в українську економіку. Одним із ключових бар'єрів залишається воєнний ризик, оскільки традиційне майнове страхування, як правило, не покриває збитки, спричинені воєнними діями [2]. Унаслідок цього інвестор змушений самостійно приймати значну частину ризику потенційного пошкодження або знищення активів. Така невизначеність може підвищувати вартість капіталу, зменшувати привабливість довгострокових проєктів і

стримувати рішення щодо започаткування або розширення діяльності в Україні. За таких умов особливого значення набуває механізм перерозподілу воєнного ризику між інвестором, страховиками, державними та міжнародними інституціями. Одним із інструментів такого перерозподілу є страхування воєнних ризиків, яке може зменшити фінансові наслідки можливого пошкодження або знищення активів і, відповідно, підвищити передбачуваність інвестиційної діяльності.

Метою роботи є обґрунтувати роль страхування воєнних ризиків як механізму зниження інвестиційних ризиків в Україні, оцінити сучасний стан і ємність відповідних інструментів та визначити напрями їх розвитку для активізації залучення приватних інвестицій у відбудову.

Певною мірою масштаб проблеми інвестиційної невизначеності відображає динаміка прямих іноземних інвестицій (ПІІ). Чисте сальдо ПІІ в Україну зменшилося з 6,9 млрд дол. США у 2021 р. до 0,62 млрд дол. США у 2022 р., після чого відбулося часткове відновлення до 4,2 млрд дол. США у 2023 р., однак у 2025 р. показник знову скоротився до 2,50 млрд дол. США, а за І кв. 2026 р. становив 0,72 млрд дол. США, що на 71,3% менше, ніж за відповідний період попереднього року [3]. Така динаміка не може пояснюватися виключно відсутністю страхового захисту, оскільки на інвестиційні рішення одночасно впливають безпекові, макроекономічні, регуляторні та інші фактори. Водночас вона свідчить про збереження високої невизначеності інвестиційного середовища, в якому страхування воєнних ризиків може відігравати роль механізму зниження частини ризику, що приймається приватним інвестором (рис. 1).

Рисунок 1. Чисте сальдо прямих іноземних інвестицій в Україну, 2016-2026 рр., млн дол. США [3]

Динаміка ПІІ, наведена на рис. 1, свідчить про нестабільність інвестиційних потоків в Україну в умовах високої невизначеності. Водночас сам по собі рівень ПІІ не дає підстав пов’язувати їх коливання виключно з відсутністю страхового захисту. Принципове значення має інше: за умов високого воєнного ризику

інвестор потребує механізму, який дає змогу заздалегідь визначити хоча б частину потенційних втрат та передати відповідальність за них іншим учасникам. Саме таку функцію може виконувати страхування воєнних ризиків, розподіляючи ризик між приватним страховиком, державою та міжнародними фінансовими інституціями.

Сучасна система СВР в Україні фактично формується як трирівнева модель розподілу воєнного ризику між приватним, міжнародним і державним секторами. Перший рівень - комерційний, представлений українськими страховиками, які пропонують спеціалізоване покриття та використовують міжнародне перестрахування для збільшення власної страхової ємності [2]. Водночас доступність таких продуктів залишається обмеженою: встановлені ліміти, територіальні обмеження та висока вартість покриття не дають змоги повною мірою задовольнити потреби середніх і великих інвестиційних проєктів.

Другий рівень - міжнародний, представлений механізмами страхування політичних і воєнних ризиків MIGA, DFC, ЄБРР та іноземних експортно-кредитних агентств. Їхня роль полягає не лише у безпосередньому страхуванні окремих інвестицій, а й у залученні додаткової міжнародної страхової ємності та розподілі ризику між ширшим колом фінансових інституцій. Підписання 25.06.2026 р. угоди між DFC та MIGA щодо розвитку страхування політичних ризиків для фонду URIF свідчить про подальше посилення цього механізму [4]. Отже, міжнародний рівень частково компенсує обмежену ємність внутрішнього ринку та знижує ризикове навантаження для іноземного інвестора.

Третій рівень - державний, представлений механізмами ЕКА, запровадженими з 2026 р. [5]. Вони поєднують компенсацію збитків від воєнних ризиків із частковою компенсацією вартості страхування. Такий підхід має важливе значення, оскільки держава бере на себе частину ризику, який приватний страховий сектор не здатний або не готовий приймати самостійно. Водночас встановлені ліміти компенсації та умови доступу до програми свідчать, що державний механізм поки не охоплює весь масштаб потенційного інвестиційного попиту.

Таким чином, трирівнева модель уже створює основу для спільного розподілу воєнного ризику, проте її окремі елементи поки недостатньо узгоджені між собою. Внутрішній ринок обмежений за ємністю, міжнародні механізми переважно прив’язані до конкретних інвестиційних проєктів, а державна підтримка - до визначених лімітів та умов. У результаті зберігається розрив між потенційним попитом на страхування воєнних ризиків та реальною здатністю системи його покривати.

Важливою передумовою ефективності цієї моделі є спроможність внутрішнього страхового сектору приймати частину воєнних ризиків. У 2025 р. фінансові показники ризикових страховиків покращилися: активи зросли на 29% - до 93,9 млрд грн, чистий прибуток подвоївся до 5 млрд грн, а ROE підвищився до 25% [6]. Зростання премій у сегменті майнового та вогневого страхування також свідчить про розширення ринку. Водночас це не означає пропорційного

зростання його готовності приймати воєнні ризики, оскільки збитковість окремих видів страхування та зростання виплат зумовлюють обережний андеррайтинг. Тому зміцнення фінансового стану створює передумови для розширення страхового покриття, але не усуває обмеженість його ємності: пріоритетні потреби відновлення України на 2026 р. оцінюються у 15,25 млрд дол. США [1]. Це зумовлює необхідність узгодженої участі приватного сектору, держави та міжнародних партнерів у розподілі воєнних ризиків.

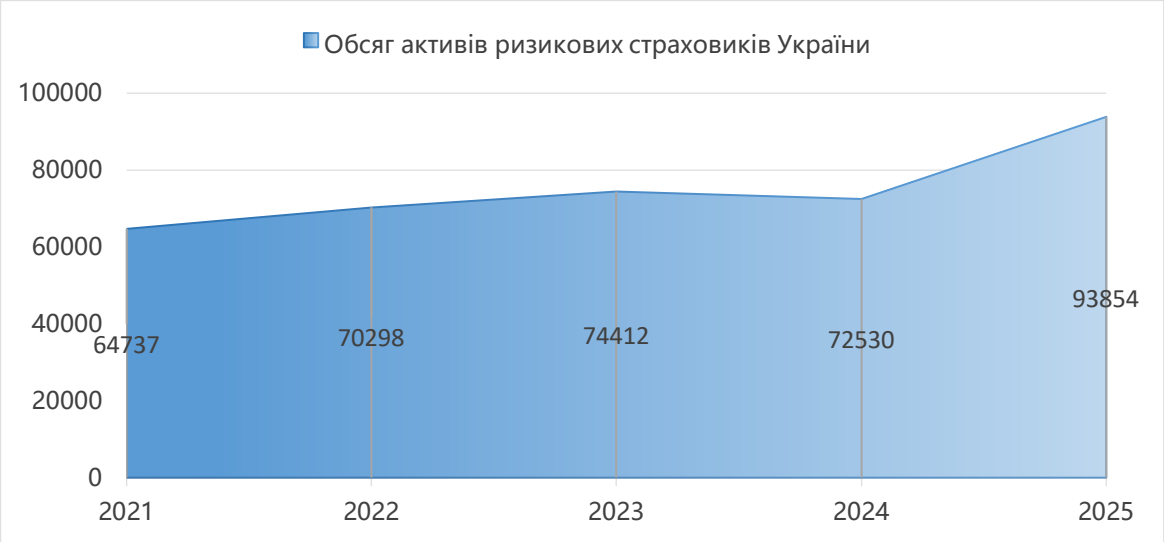

Рисунок 2. Обсяг активів ризикових страховиків України,
2021-2025 рр., млрд грн. [6]

З огляду на проведений аналіз доцільно зосередити розвиток системи страхування воєнних ризиків на таких напрямах:

1. Завершити формування єдиної законодавчої основи СВР. Наявність окремих комерційних, державних і міжнародних механізмів без чіткої системи їх взаємодії робить страховий захист фрагментарним. Тому необхідно визначити роль і відповідальність страховиків, держави та міжнародних партнерів у розподілі ризику.

2. Зосередити перехідну модель на перестрахуванні. Такий підхід дає змогу поєднати можливості українських страховиків із міжнародною страховою ємністю та поступово збільшувати обсяги покриття без надмірного навантаження на державний бюджет.

3. Диференціювати та підвищити ліміти державної компенсації. Наявні обмеження краще відповідають невеликим і середнім об’єктам, але не забезпечують достатнього захисту для великих інвестиційних проєктів. Розмір державної підтримки доцільно визначати з урахуванням масштабу проєкту, рівня ризику та його значення для відновлення економіки.

4. Узгодити державні та міжнародні механізми страхування. Для інвестора система має бути зрозумілою незалежно від обраного механізму захисту. Узгодження інструментів ЕКА з міжнародними програмами страхування політичних і воєнних ризиків дасть змогу уникати дублювання гарантій та розширити доступ до страхового покриття.

5. Забезпечити постійний моніторинг попиту та ємності ринку. Розвиток СВР має враховувати реальні потреби бізнесу. Регулярне зіставлення попиту на страхування, укладених договорів, страхових виплат і доступної перестрахувальної ємності дасть змогу своєчасно коригувати параметри державної підтримки.

Отже, проведений аналіз показує, що страхування воєнних ризиків може бути важливим інструментом залучення приватного капіталу до відбудови України, оскільки дає змогу передати частину ризику від інвестора до страховиків, держави та міжнародних партнерів. Водночас сучасна система залишається недостатньою за масштабом: внутрішня страхова ємність обмежена, державна підтримка має встановлені ліміти, а міжнародні механізми переважно застосовуються до окремих інвестиційних проєктів. Тому ключовим завданням є розширення окремих страхових продуктів та узгодження наявних механізмів у єдиній системі розподілу воєнного ризику. Поєднання українського страхового ринку з перестрахуванням, державною підтримкою та міжнародними фінансовими інструментами може збільшити доступний обсяг страхового покриття, зменшити невизначеність для інвестора та створити більш передбачувані умови для залучення приватного капіталу у відбудову України.

Список використаних джерел

1. Ukraine. Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5): Main Report, February 2022 - December 2025 [Електронний ресурс] // World Bank Group. - 2026. - Режим доступу: https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf (дата звернення: 22.09.2026)
2. Страхування воєнних ризиків в Україні: нові державні механізми та перспективи розвитку ринку [Електронний ресурс] // Kinstellar. - 2026. - Режим доступу: https://www.kinstellar.com/upload/Kinstellar%20Ukraine_War%20risk%20insurance_January%202026_UKR.pdf (дата звернення: 22.09.2026)
3. Прямі іноземні інвестиції (ПІІ) в Україну [Електронний ресурс] // Мінфін. - Режим доступу: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/fdi/ (дата звернення: 22.09.2026)
4. DFC та MIGA підписали угоду про розвиток страхування політичних ризиків в Україні [Електронний ресурс] // DFC. - 2026. - Режим доступу: https://www.dfc.gov/media/press-releases/dfc-miga-sign-agreement-advance-political-risk-insurance-ukraine (дата звернення: 22.09.2026)
5. Бурбель Л. Страхування воєнних ризиків [Електронний ресурс] // Національний банк України. - 2025. - Режим доступу: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Strah_v_r_pr-03-11-2025.pdf (дата звернення: 22.09.2026)
6. Огляд небанківського фінансового сектору. Березень 2026 року [Електронний ресурс] // Національний банк України. - 2026. - Режим доступу: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Nonbanking_Sector_Review_2026-03.pdf (дата звернення: 22.09.2026)

ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У МАЛОМУ І СЕРЕДНЬОМУ БІЗНЕСІ

Круш Вікторія
старший викладач
Кафедра корпоративних фінансів і контролінгу
Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана, Україна

Анотація. У роботі досліджено вплив штучного інтелекту на процес прийняття управлінських рішень у малому та середньому бізнесі. Систематизовано основні напрями використання ШІ у стратегічному, фінансовому, маркетинговому, операційному управлінні та ризик-менеджменті. На основі сучасних досліджень 2025–2026 років показано, що застосування генеративного ШІ, машинного навчання та прогнозної аналітики може скорочувати час підготовки управлінських рішень, розширювати інформаційну базу менеджера та підвищувати якість прогнозування. Водночас результативність використання ШІ залежить від якості даних, цифрової інфраструктури, управлінських компетентностей і здатності керівників критично оцінювати рекомендації алгоритмів.

Ключові слова: штучний інтелект, малий та середній бізнес, фінанси підприємств, управлінські рішення, стратегічне управління, цифровізація.

Введення. Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту змінює не лише окремі операційні процеси, а й саму логіку підготовки та прийняття управлінських рішень. Для малого та середнього бізнесу це має особливе значення, оскільки МСБ зазвичай функціонує в умовах обмежених фінансових, кадрових та інформаційних ресурсів, а значна частина управлінських функцій концентрується на рівні власника або невеликої команди менеджерів. У таких умовах ШІ може виконувати роль інструменту аналітичної підтримки: швидко опрацьовувати значні масиви інформації, виявляти закономірності, прогнозувати розвиток ситуації, формувати альтернативні сценарії та структурувати дані для керівника.

Актуальні наукові дослідження підтверджують посилення ролі ШІ саме у сфері управлінського вибору. Красностанова Н. Е. та Міхляєв М. О. розглядають штучний інтелект як інструмент підтримки стратегічного планування українських МСБ, зокрема для аналізу внутрішнього і зовнішнього середовища, прогнозування, розподілу ресурсів, порівняння стратегічних альтернатив та управління ризиками [1]. У свою чергу, Meri Taksi Deveciyan, Hazal Koray Alay, Rasim Keskin на основі опитування 392 працівників МСБ встановили статистично значущий зв'язок між прийняттям генеративного ШІ, швидкістю стратегічного прийняття рішень та інноваційними результатами підприємств [2].

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є визначення основних напрямів і механізмів впливу штучного інтелекту на прийняття управлінських

рішень у малому та середньому бізнесі. Для досягнення мети поставлено такі задачі: узагальнити сучасні напрями застосування ШІ у функціональних сферах МСБ; визначити його вплив на швидкість та обґрунтованість управлінських рішень; систематизувати очікувані управлінські результати; окреслити основні обмеження та умови ефективного використання ШІ.

Результати дослідження і їх обговорення. Одним із найбільш помітних ефектів застосування ШІ є скорочення часу між отриманням інформації та прийняттям рішення. Для невеликого підприємства, яке не має окремого аналітичного підрозділу, традиційне опрацювання інформації про ринок, конкурентів, витрати, клієнтів та ризики може потребувати значних витрат часу. Генеративні моделі та інструменти прогнозної аналітики дають змогу автоматизувати частину цієї роботи, швидко структурувати інформацію, порівнювати варіанти дій та формувати попередні сценарії. Емпіричні результати 2026 року свідчать, що прийняття генеративного ШІ позитивно пов'язане зі швидкістю стратегічного прийняття рішень у МСБ [2]. Не менш важливим є вплив ШІ на обґрунтованість управлінського вибору. Le Dinh, Vu та Tran відзначають його використання в МСБ для прогнозної аналітики, ціноутворення, маркетингу, планування та ризик-менеджменту [3]. Це розширює інформаційну базу керівника і допомагає швидше реагувати на зміни попиту, цін, витрат та поведінки клієнтів. У стратегічному управлінні ШІ підтримує багатокритеріальний вибір. Огляд 82 наукових робіт Molina-Abril, Calvet, Juan та Riera показує перспективність машинного навчання, евристичних і гібридних методів для рішень МСБ в умовах невизначеності та ресурсних обмежень [4]. Такі інструменти дають змогу одночасно враховувати ціну, надійність, ризик, логістичні витрати та прогнозований попит.

Таблиця 1 – Напрями впливу ШІ на прийняття управлінських рішень у МСБ

Сфера управлінського рішення	**Можливості використання ШІ**	**Очікуваний результат для МСБ**
Стратегічне планування	Аналіз тенденцій, сценарне прогнозування, оцінка стратегічних альтернатив	Швидше та обґрунтованіше формування стратегічного вибору
Фінансове управління	Прогнозування грошових потоків, витрат, доходів і фінансових ризиків	Підвищення якості фінансового планування та контролю
Маркетинг і продажі	Аналіз поведінки клієнтів, прогнозування попиту, персоналізація пропозицій	Точніше визначення потреб споживачів і підтримка продажів
Операційне управління	Прогнозування запасів, оптимізація ресурсів і повторюваних процесів	Зниження непродуктивних витрат і підвищення продуктивності
Управління ризиками	Виявлення аномалій, оцінка факторів ризику, моделювання сценаріїв	Швидше реагування на зміни та зменшення наслідків ризикових подій

*дані систематизовано автором на основі [1–6]

Важливим результатом цифровізації управління є зміна ролі менеджера у процесі підготовки рішення. За традиційної моделі керівник або працівники самостійно збирають дані, узагальнюють їх, визначають альтернативи та обирають варіант дій. При використанні ШІ значна частина інформаційно-аналітичної роботи може виконуватися автоматизовано. Менеджер отримує структуровані дані, прогноз або декілька сценаріїв, після чого оцінює їх з урахуванням контексту, досвіду та відповідальності за наслідки рішення.

Дослідження Aiudi, Francioni, Kyrdoda та Amerio, проведене на прикладі шести італійських виробничих МСБ, свідчить, що інтеграція ШІ у міжнародне стратегічне прийняття рішень може підвищувати швидкість, точність і формалізацію процесу, однак її результат залежить від ресурсних можливостей підприємства, технічних компетентностей і організаційної культури [5]. Це означає, що ефективність ШІ визначається не лише якістю алгоритму, а й здатністю підприємства включити його у реальні управлінські процедури.

Зв'язок між спроможністю використовувати ШІ в управлінських рішеннях і результатами діяльності підтверджується також дослідженням Kugara. Автор розглядає AI-augmented decision-making як організаційну здатність, що формується під впливом технологічних, людських та організаційних факторів, і показує її позитивний зв'язок із показниками сталого розвитку МСБ [6]. Отже, найбільшу цінність для підприємства створює не разове використання окремого ШІ-сервісу, а системне поєднання технології з управлінськими компетентностями.

Послідовний механізм впливу ШІ на управлінський процес можна описати таким чином. Спочатку підприємство розширює можливості збору та обробки внутрішньої і зовнішньої інформації. Далі аналітичні моделі використовуються для прогнозування, виявлення закономірностей та формування альтернативних сценаріїв. Це скорочує тривалість підготовчого етапу та дає менеджеру змогу порівняти більше варіантів дій. За умови якісних даних і професійної перевірки результатів підвищується обґрунтованість вибору, а підприємство може швидше реагувати на зміни ринку, ефективніше розподіляти ресурси та знижувати втрати від несвоєчасних рішень.

Водночас впровадження ШІ у МСБ має суттєві обмеження. D'Amico, Audretsch, Belitski та Colombelli доводять, що схильність малого і середнього бізнесу до прийняття ШІ залежить від інвестицій у внутрішні дослідження і розробки, цифрові технології, зовнішні знання та співпрацю [7]. Для ресурсно обмежених підприємств одночасне нарощування великої кількості компетентностей може бути надмірно складним, тому технологічна стратегія має відповідати реальним можливостям підприємства.

Sánchez, Calderón та Herrera систематизують десять ключових викликів упровадження ШІ в МСБ, серед яких обмежений доступ до якісних даних, дефіцит навичок, недостатня інфраструктура, фінансові обмеження, організаційний опір та слабкі практики управління ШІ [8]. До цього додаються ризики конфіденційності, кібербезпеки та некритичного використання результатів генеративних моделей. ШІ може формувати переконливу за формою відповідь, що містить неточні висновки, тому остаточне рішення, особливо щодо

інвестицій, фінансування, персоналу або виходу на новий ринок, має залишатися у сфері відповідальності менеджера.

Для українського МСБ ШІ є особливо корисним в умовах високої невизначеності та потреби швидко адаптуватися до змін ринку. Він може підтримувати прогнозування попиту і грошових потоків, оцінку ризиків та вибір стратегічних альтернатив. Практичне впровадження водночас потребує якісних даних, навчання персоналу та чіткого розподілу відповідальності між алгоритмом і менеджером [1; 8].

Висновки. Штучний інтелект стає важливим інструментом підтримки управлінських рішень у МСБ. Його використання скорочує час аналітичної підготовки, розширює інформаційну базу менеджера, підтримує прогнозування та багатокритеріальний вибір. Водночас ефективність залежить від якості даних, цифрової інфраструктури, компетентностей персоналу та критичної оцінки рекомендацій алгоритмів. Найбільш доцільною є модель, за якої ШІ забезпечує інтелектуальну підтримку, а остаточний вибір і відповідальність за рішення зберігаються за людиною.

Список використаних джерел

1. Красностанова Н. Е., Міхляєв М. О. Artificial Intelligence as a Tool for Supporting Managerial Decision-Making in Strategic Planning of Small and Medium-Sized Enterprises in Ukraine // Бізнес Інформ. 2025. № 9. С. 70–77. DOI: 10.32983/2222-4459-2025-9-70-77.
2. Taksi Deveciyan M., Alay H. K., Keskin R. How Does the Adoption of Generative AI Affect the Speed of Strategic Decision-Making and Innovation Performance in SMEs? // Economics. 2026. Vol. 20, No. 1. Article 20250191. DOI: 10.1515/econ-2025-0191.
3. Le Dinh T., Vu M.-C., Tran G. T. C. Artificial Intelligence in SMEs: Enhancing Business Functions Through Technologies and Applications // Information. 2025. Vol. 16, No. 5. Article 415. DOI: 10.3390/info16050415.
4. Molina-Abril G., Calvet L., Juan A. A., Riera D. Strategic Decision-Making in SMEs: A Review of Heuristics and Machine Learning for Multi-Objective Optimization // Computation. 2025. Vol. 13, No. 7. Article 173. DOI: 10.3390/computation13070173.
5. Aiudi A., Francioni B., Kyrdoda Y., Amerio S. The Role of Artificial Intelligence in International Strategic Decision-Making for SMEs // Journal of Strategy and Management. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 157–187. DOI: 10.1108/JSMA-06-2025-0207.
6. Kugara G. AI-Augmented Decision-Making and Sustainability Performance in SMEs: A Hybrid PLS-SEM, ANN, and Multi-Group Analysis // Industrial Management & Data Systems. 2026. P. 1–24. DOI: 10.1108/IMDS-11-2025-1719.
7. D'Amico E., Audretsch D. B., Belitski M., Colombelli A. Adopting Artificial Intelligence in Small and Medium Businesses: The Knowledge-Based Perspective // Small Business Economics. 2026. Vol. 67. P. 1019–1045. DOI: 10.1007/s11187-026-01214-7.
8. Sánchez E., Calderón R., Herrera F. Artificial Intelligence Adoption in SMEs: Survey Based on TOE–DOI Framework, Primary Methodology and Challenges // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 12. Article 6465. DOI: 10.3390/app15126465.

Section: Geography, Geology and Geodesy

СУЧАСНИЙ РОЗВИТОК СТРУКТУРИ ПОЛІТИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ

Гольцов Андрій
д.політ.н.
Кафедра філософії та міжнародної комунікації
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Україна

Анотація. Дослідження присвячено з'ясуванню сучасних тенденцій розвитку структури політичної географії. Пропонується структура політичної географії, яка містить чотири основні змістовні блоки.

Ключові слова: політична географія, «галузеві» дисципліни, комплексні дисципліни, прикладні дисципілни.

Введення. Політична географія, як і решта суспільно-географічних наук, переживає етап суттєвих змін. Відбуваються дискусії щодо її класичних теоретичних підвалин, новітніх концепцій, методології та різноманітних методик політико-географічних досліджень тощо. Висуваються також численні пропозиції щодо оптимізації структури політичної географії. З-поміж тенденцій – поява нових «галузевих» дисциплін, якісне оновлення вже напрацьованих напрямів наукових студій тощо. Сучасні трансформації міжнародного порядку у світі та його регіонах, глобалізаційні процеси, воєнні конфлікти, – усе це потребує ретельних політико-географічних досліджень.

Мета дослідження. Виявлення особливостей сучасного розвитку структури політичної географії й визначення провідних тенденцій її трансформації.

Результати дослідження та їх обговорення. Політична географія як відносно молода наука ще не має жорстко організованої структури. Вважаємо, що в складі політичної географії доцільно виділити чотири основні блоки, які містять окремі політико-географічні дисципліни [2, с. 37-39].

Перший блок представлений «загальними» політико-географічними дисциплінами. Передусім, це теоретична політична географія, яка формує смисловий фундамент науки (розробка теоретичних концепцій, перевірка гіпотез, удосконалення термінології тощо), а також розробляє нові й удосконалює наявні методологічні підходи та методики. Історична політична географія покликана вивчати виникнення й трансформації геопросторових політичних систем, політико-географічні ситуації в різні історичні епохи в регіонах та країнах світу. Історична географія багатьма авторами-істориками вважається допоміжною історичною дисципліною, проте вона все ж є міждисциплінарною наукою (між історією та географією). Історична політична географія, у свою чергу, перебуває на стику політичної історії та політичної географії.

Другий блок містить «галузеві» («спеціальні») політико-географічні дисципліни, які досліджують, головним чином, окремі компоненти (або їх сполучення) у геопросторових політичних системах на різних ієрархічних рівнях організації суспільства. Військово-політична географія досліджує вплив геопросторових факторів на військовий потенціал окремих держав та військово-політичних альянсів, розміщення збройних сил держав світу, їх закордонних контингентів, військових баз тощо. Етнополітична географія вивчає географічні чинники формування етнічних політичних систем, їх просторові структури, взаємозв'язки між собою та з державними органами влади тощо. Географія політичних партій та рухів вивчає географічні фактори, що впливають на формування просторових систем політичних партій і рухів, чинники їх трансформації, зміни зон впливу та ін. Електоральна географія виявляє геопросторові чинники електоральної поведінки населення, досліджує політико-географічну ситуацію в країні чи регіоні, територіальну організацію виборчих систем у державах світу тощо. Виокремлення названих вище наукових дисциплін вважається доцільним, зокрема й в українській науці [1, с. 18]. Щодо військової географії, то С. І. Сюткін відокремлює її від суто політичної географії, водночас наголошуючи на безпосередній близькості предмету їх досліджень [3, с. 6]. Географічна лімологія досліджує просторові фактори встановлення кордонів, вплив географічних умов на їх динаміку, ступінь «прозорості» тощо. Географічна полемологія – наука про вплив географічних факторів на виникнення і поширення різноманітних конфліктів: політичних, соціальних, етнічних, релігійних тощо (зокрема, виділяють географію воєнно-політичних конфліктів). Географія політичної культури досліджує вплив геопросторових факторів на формування політичної культури населення країн світу, виявляє ареали з різними типами політичної культури тощо. Адміністративна географія вивчає особливості адміністративно-територіального устрою держав світу, зокрема географічні фактори їх формування, розвитку, сучасної трансформації тощо.

До третього блоку належать комплексні політико-географічні дисципліни. Вони досліджують геопросторові політичні системи відповідно до певного ієрархічного рівня політичної організації суспільства. До них належить, передусім, глобальна політична географія, спрямована на вивчення світу з погляду взаємодії геопросторових компонентів політичного середовища, які розглядаються як взаємопов'язані. Регіональна політична географія у свою чергу поділяється на: політичну географію регіонів світу; політико-географічне (політичне) країнознавство; політичну географію внутрішньодержавних регіонів; мікрорегіональну політичну географію). Політична географія Світового океану, у складі якої можна виділити комплексні політико-географічні дослідження окремих акваторій, наприклад, Тихого, Атлантичного чи Індійського океанів.

До четвертого блоку доцільно віднести прикладні політико-географічні дисципліни. Аналітична політична географія покликана проводити ретельний аналіз тих політичних ситуацій, які виникають і розвиваються в регіонах світу, державах та їхніх внутрішніх регіонах. «Конструктивна» політична географія

розробляє науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації розміщення геопросторових політичних систем, удосконалення їхньої структури, окремих компонентів тощо, а також методики прикладних політико-географічних досліджень. Особливо перспективним вважається політико-географічне проєктування. Прогностична політична географія із застосуванням відповідних методик розробляє найвірогідніші сценарії розвитку геопросторових політичних систем, трансформації їх структур, взаємозв'язків у політичному геопросторі тощо. Наскрізною (тобто такою, що стосується всіх інших) політико-географічною дисципліною є політична картографія, оскільки в географічних дослідженнях вельми важливим є створення картографічних зображень певних політичних процесів і явищ для подальшого їх продуктивного аналізу.

Дуже важливими завданнями політичної географії постають прикладні дослідження: оптимізації адміністративно-територіального поділу держав світу та регіонів; доцільнішого проведення ліній державних кордонів на суходолі й у Світовому океані та його акваторіях. Вироблення рекомендацій щодо: формування виборчих округів у країнах світу; проведення виборчих кампаній окремими політичними силами; шляхів регулювання міграційних процесів; визначення оптимальних заходів щодо врегулювання існуючих воєнно-політичних конфліктів. Прогнозування подальших трансформацій міжнародного порядку на різних ієрархічних рівнях, виникнення в майбутньому внутрішньодержавних та міжнародних конфліктів тощо.

Політична географія тісно взаємодіє з такими науковими дисциплінами, як інші суспільно-географічні (економічна та соціальна географія, географія населення, географія культури, географія релігії, військова географія та ін.) та фізико-географічні (геоморфологія, кліматологія, океанографія, гідрологія суходолу, біогеографія тощо). Політична географія пов'язана також із політичними та правовими науковими дисциплінами, економічними науками, соціологією, демографією, етнографією, історичними науками тощо. Найбільш спорідненою з політичною географією є, безперечно, геополітика.

Висновки. На сучасному етапі розвитку політичної географії спостерігаються істотні трансформації її структури. Передусім, необхідно відзначити збільшення кількості «галузевих» дисциплін внаслідок урізноманітнення предмету вивчення політичної географії. Водночас, посилюється значення прикладних політико-географічних досліджень. Особливо важливими є аналітичні оцінки політичних ситуацій, політико-географічне проєктування, прогностичні дослідження тощо.

Список використаних джерел

1. Дністрянський, М. С. (2014). Політична географія України. Львів : ЛНУ імені Івана Франка.
2. Гольцов, А. Г. (2012). Геополітика та політична географія. Київ : ЦУЛ.
3. Сюткін, С. І. (2017). Політична географія. Суми : ТОВ «ВВП «Фабрика друку».

Section: History and Cultural Studies

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.005.121-125

АГРОНОМИ ТА СЕЛЯНСТВО В УСРР У 1920-х РОКАХ: ДОСВІД ПРОФЕСІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Литвиненко Олександр Євгенійович
кандидат історичних наук, доцент
Кафедра права та інформаційної справи
Приватний заклад вищої освіти
«Східноєвропейський університет імені Рауфа Аблязова»

Сільське господарство УСРР у 1920-х роках розвивалося в умовах поширення нових способів господарювання та зростання потреби в агрономічних знаннях. У сільській місцевості дедалі більшого значення набували спеціальні знання про ведення господарства, які поширювалися через сільськогосподарську пресу, навчання та безпосередню роботу агрономів. Важливе місце в цій справі належало агрономічним установам, через які здійснювалася практична допомога селянським господарствам. Агрономи надавали селянам поради з різних питань землеробства і тваринництва, знайомили їх із новими прийомами господарювання та брали участь у їх практичному застосуванні. Водночас важливим залишалося питання того, як ця робота сприймалася самими селянами та яке місце вона посідала в їхньому господарському житті.

Для селян, однак, важливим було не лише існування агрономічної служби. Значення мало те, наскільки доступною була фахова допомога та чи відповідали рекомендації агронома умовам конкретного господарства. Джерела 1920-х років містять не лише повідомлення про поширення агрономічних знань, а й звернення селян із проханнями надіслати фахівця, скарги на його відсутність та відгуки про роботу агрономів. Ці матеріали відображають різні обставини, за яких селяни зверталися по агрономічну допомогу, а також труднощі, що виникали в роботі агроспеціалістів із селянськими господарствами.

Перші післяреволюційні роки були складними для організації агрономічної роботи через брак фахівців. Документи цього часу засвідчують потребу в агрономах із відповідною освітою та досвідом роботи [1, арк. 108, 145, 156]. Нестача фахівців позначалася на територіальній організації агрономічної служби: за одним спеціалістом могли закріплювати значну кількість сіл, що ускладнювало регулярні виїзди до селян.

Відсутність фахової допомоги відчували й самі селяни. У листах до редакцій журналів селяни запитували, чи є в селі агроном, просили надіслати фахівця, а часом висловлювали й побажання мати «агронома справжнього». Приводом для цього була часто конкретна господарська потреба: селяни зверталися до

сільської ради, але не отримували необхідної поради й тому шукали допомоги в агронома [2, с. 4–5]. У таких випадках агроном поставав передусім як фахівець, до якого можна було звернутися з практичною проблемою.

Селянські запити до агрономів охоплювали широке коло господарських питань – від організації землекористування та сівозміни до обробітку ґрунту, боротьби зі шкідниками, садівництва й тваринництва. У селянських відгуках згадувалися чотирипільна сівозміна та способи підвищення врожайності, оранка стерні, очищення заболочених ділянок, спільна боротьба зі шкідниками та поліпшення сівби [2, с. 4–5]. Однак наявність таких запитів не завжди знаходила відповідь у роботі агрономічної служби. В окремих випадках труднощі виникали вже на етапі зустрічі фахівця із селянами. Зокрема, на Роменщині в середині 1920-х років селяни зібралися, щоб зустрітися з агрономом, але він не прийшов. В інших випадках його діяльність обмежувалася участю в засіданнях і складанням звітів, без подальшої роботи з господарями [3, с. 107–109]. У селянській пресі також згадувалися села, які протягом кількох років залишалися без агронома, хоча їхні мешканці прагнули запровадити багатопільну систему та потребували фахової поради щодо ведення господарства [4, с. 56].

Важливим чинником агрономічної роботи були конкретні умови селянського господарства. Особливо виразно це виявлялося під час запровадження нових способів господарювання. Так, у 1921 р. агроном Г. Пікус проводив збори в Богданівці, Балабанівці та Лукарівці, де обговорював із селянами організацію громадської сівозміни. Селяни загалом прихильно сприймали цю пропозицію, водночас звертаючи увагу на нестачу сільськогосподарського реманенту, кормів для коней та віддаленість земельних ділянок [5, арк. 7, 9].

Нововведення в селянському господарстві не завжди одразу приймалися селянами. Особливо це стосувалося пропозицій, що передбачали спільну працю або відмову від усталених форм роботи. Спочатку такі заходи могли викликати обережність, однак позитивний ефект від їх упровадження поступово сприяв їх поширенню. Наприклад, у журналі «Земельник» описано випадок, коли під час організації боротьби з ярами селяни спочатку неохоче погоджувалися працювати спільно, але після того, як проведені роботи показали хороші результати, їхнє ставлення до агронома змінилося [6, с. 35].

Про ставлення селян до агрономічної допомоги свідчать і матеріали спеціальних обстежень агрономічної праці. Під час цих обстежень з’ясовували, чи знали господарі про агронома, коли і за яких обставин уперше з ним зустрічалися, чи відвідували агрономічні лекції та сільськогосподарські курси [7, арк. 44]. Дані, зібрані в селах Мачухи та Жуки на Полтавщині, показали, що 35 і 49 % опитаних відповідно не чули про агронома. Серед селян, які зустрічалися з фахівцем, одні пригадували його поради щодо ведення господарства, інші ж не могли пригадати, про що саме він їм радив [8, с. 81–82].

Поширення агрономічних знань серед селян відбувалося також через різні форми сільськогосподарської освіти. У 1920-х роках для цього проводили курси,

лекції та бесіди, організовували екскурсії, діяли сільськогосподарські гуртки, влаштовувалися виставки та змагання. За даними журналу «Український агроном», у 1927–1928 рр. діяло 3049 сільськогосподарських гуртків, у яких налічувалося 78937 учасників. Працювало також 199 «агрономізованих» семирічних шкіл і 149 зимових селянських шкіл. За цей час було проведено 551 сільськогосподарську виставку та 220 сільськогосподарських змагань [9, с. 55–61]. У результаті агрономічні знання поширювалися серед значної кількості селян через організовані форми навчання та практичної роботи.

У професійній пресі звертали увагу і на те, наскільки зрозумілою для селян була мова агрономів. Під час спілкування виникали труднощі через вживання спеціальної агрономічної термінології. Тому агрономові потрібно було не лише знати свою справу, а й уміти доступно пояснити господареві свої рекомендації [10, с. 50–51]. Водночас від агроспеціалістів вимагали ґрунтовних знань у різних галузях сільського господарства. Оскільки селяни зверталися до них із різними господарськими питаннями, агроном мав володіти знаннями, необхідними для вирішення не лише фахових, а й повсякденних господарських проблем [11, с. 16–18].

Характер роботи агронома та його роль у селянському господарстві також розглядали в тогочасних публікаціях сільськогосподарської тематики. Агроном мав відповідати на звернення селян і допомагати їм у вирішенні конкретних господарських питань або сам визначати напрями подальшого розвитку господарства. Відповідно, його роль могли розуміти як просвітницьку — поширення агрономічних знань серед селян – або як організаторську, пов’язану з безпосереднім упорядкуванням господарської роботи [12, с. 6–7]. Таке розуміння ролі агронома порушувало питання про межі його професійної діяльності на селі: наскільки він мав пристосовувати свою роботу до потреб селянських господарств і наскільки – сам визначати напрями їх подальшого розвитку.

Джерела містять як позитивні оцінки діяльності агрономів у селянському середовищі, так і критичні зауваження. У пресі згадували випадки, коли агрономічною роботою займалися люди без достатньої підготовки або коли замість фахової поради селяни отримували випадкові рекомендації [13, с. 91]. Окремі матеріали свідчать про обмежену участь агрономів у роботі з населенням. Наприклад, на Бердянщині в середині 1920-х років агроном проживав у селі, але протягом тривалого часу не проводив для селян лекцій [14, с. 58]. Ще один випадок, зафіксований в архівних документах, стосується агронома Александрова у 1927 р. На загальні збори він прибув у нетверезому стані, відмовився від запланованої лекції про сівозміну, натомість почав говорити про тваринництво, а згодом заснув. Перевірка підтвердила систематичне вживання ним алкоголю та інші порушення. Після розгляду справи було порушено питання про його усунення, оскільки така поведінка дискредитувала агронома в очах населення [15, арк. 208].

У тогочасній селянській пресі водночас закріплювався і позитивний образ агронома. У публікаціях для селян наголошувалося на доцільності звернення до фахівця за порадою, а самого агронома називали «вашим другом» [16, с. 17].

Художні твори також зверталися до цього образу. У вірші О. Хіміч «Агроном» фахівець поставав як помітна постать сільського життя, тоді як у байці «За господаря «Недбая» та агронома «Нехая» критиці піддавалися водночас і недбалий господар, і недбалий агроном [17, с. 24; 18, с. 34–35]. Загалом в обох випадках від агронома очікували знань, роботи та конкретної допомоги селянам.

Окремо варто розглянути свідчення про незадоволення селян роботою агрономів. У публікаціях середини 1920-х років трапляються скарги на те, що агроном працював у районі, однак селяни не знали, чим саме він займається, або що фахівець працював не в селі, а десь «в іншому місці» [14, с. 58]. Подібна ситуація описана і в повідомленні про агронома, який, прибувши до села, запропонував господарям позначити місця поширення шкідників, після чого більше не з'являвся [2, с. 4–5].

Наведені свідчення, однак, не дають підстав повністю стверджувати про усталене чи однакове ставлення селян до агрономів. У професійній пресі фіксувалися випадки, коли в окремих місцевостях до роботи фахівців ставилися з недовірою або не вбачали потреби в їхній присутності. Причини такого ставлення пов'язували не лише зі сприйняттям самих агрономів, а й з організацією діяльності агрономічних пунктів та місцевими умовами [13, с. 16–18]. Водночас джерела засвідчують і зацікавленість селян у роботі фахівців, особливо там, де їхня діяльність була безпосередньо пов'язана з потребами місцевих господарств. Отже, сприйняття агрономічної допомоги залежало не тільки від самого факту присутності спеціаліста на селі, а й від того, наскільки помітною для селян була його робота.

Наприкінці 1920-х років умови роботи агрономів в сільській місцевості змінювалися під впливом посилення державного втручання в селянське господарство. Окремі заходи, пов'язані з веденням господарства, дедалі частіше здійснювалися в межах вимог, установлених державними органами, що позначалося і на їх сприйнятті селянами. Про це зокрема свідчать матеріали 1929 р., у яких наведено негативні оцінки окремих заходів, пов'язаних із проведенням посівної кампанії. Присутність агронома пов'язували зі зниженням результатів господарювання: «Як працював коло землі без агронома то білий хліб був, а тепер є агроном й чорного немає» [19, арк. 13].

Отже, у 1920-х роках агрономічна служба в УСРР поступово розширювала присутність у сільському середовищі. Робота агрономів охоплювала безпосереднє обслуговування господарств, проведення навчальних заходів, організацію гуртків, курсів, виставок та інших форм поширення сільськогосподарських знань. Ефективність агрономічної роботи багато в чому залежала від постійної присутності фахівців у селі, їхньої доступності для селян і можливості застосовувати запропоновані способи господарювання.

Джерела показують, що селяни по-різному сприймали діяльність агрономів. В одних випадках до фахівців зверталися за допомогою і використовували їхні рекомендації. В інших випадках відсутність агронома, його нерегулярна робота або незрозуміле для господаря призначення окремих заходів ставали причиною

недовіри. Застосування агрономічних заходів залежало і від матеріальних можливостей селянського господарства. Нестача ременанту, робочої худоби та інших необхідних засобів ускладнювала впровадження нових агротехнічних прийомів.

Наприкінці десятиліття державна політика щодо сільського господарства істотно впливала на роботу агрономів. Вони вже не лише обслуговували селянські господарства та поширювали сільськогосподарські знання, а й виконували завдання, визначені державою.

Список використаних джерел

1. Центральний державний архів вищих органів влади та управління України. Ф. 27. Оп. 2. Спр. 322. Арк. 108, 145, 156.
2. Григоревич А. Селяни про агрономів / А. Григоревич // Агроном. – 1925. – № 1. – С. 4–5.
3. Про агрономічну працю на Роменщині // Земельник. – 1924. – № 1. – С. 107–109.
4. Товкач П. Дайте агронома! / П. Товкач // Радянський селянин. – 1925. – № 17–18. – С. 56.
5. Державний архів Миколаївської області. Ф. Р-54. Оп. 1. Спр. 209. Арк. 7, 9.
6. Кузьменко П. Про агрономічну роботу на селі (матеріли по питаннях місцевої агрономічної роботи на Україні) / П. Кузьменко // Земельник. – 1924. – № 2. – С. 33–36.
7. Центральний державний архів вищих органів влади та управління України. Ф. 27. Оп. 8. Спр. 969. Арк. 44.
8. Рум'янців В. До питання про ефективність агророботи на селі / В. Рум'янців // Український агроном. – 1928. – № 7–8. – С. 81–83.
9. Інгульський І. Масова агрономізація населення та її перспективи / І. Інгульський // Український агроном. – 1929. – № 11. – С. 55–61.
10. Луцькович М. Термінологічна плутанина / М. Луцькович // Український агроном. – 1926. – № 10. – С. 50–51.
11. Слісаренко О. Районна агрономія та адміністративні райони / О. Слісаренко // Агроном. – 1924. – № 1. – С. 16–18.
12. Спеціяліст чи універсаліст? // Український агроном. – 1926. – № 8–9. – С. 6–7.
13. Центілович. Ліквідуймо дрібниці, що перешкоджають райагрономам у роботі / Центілович // Український агроном. – 1925. – № 2. – С. 16–18.
14. Що робить агроном? // Радянський селянин. – 1925. – № 17–18. – С. 58.
15. Державний архів Полтавської області. Ф. Р-2014. Оп. 2. Спр. 7. Арк. 208.
16. Наші заповіти (12) // Радянський селянин. – 1924. – № 1. – С. 16–17.
17. Хіміч О. Агроном / О. Хіміч // Радянський селянин. – 1925. – № 23. – С. 24.
18. За господаря «Недбая» та агронома «Нехая» // Радянський селянин. – 1925. – № 19. – С. 34–35.
19. Центральний державний архів громадських об'єднань України. Ф. 1. Оп. 20. Спр. 3013. Арк. 13.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.006.126-129

THE "PLACES OF MEMORY" PROJECT AS AN ARTISTIC REFLECTION OF UKRAINIAN IDENTITY

Osypova Daryna
Faculty of Fine Arts
University of Rzeszów,
Poland

I am a Ukrainian artist and a student in the Graphic Arts programme at the University of Rzeszów. My artistic practice encompasses graphic art, photography, and digital techniques, through which I explore themes of Ukrainian identity, memory, and culture. My works combine personal experience with historical memory and address the importance of preserving Ukraine's cultural heritage.

In September 2026, my works were presented at an exhibition in Poland. The exhibition brought together two series created using different artistic techniques but united by a common focus on Ukrainian identity and cultural memory (Fig. 1).

Figure 1 – Poster for the cultural event "Places of Memory" and "Motanka" at the FENIKS International Integration Centre in Rzeszów, Poland [1]

The first series, "Motanka" is presented through photographs in which I appear in the image of a traditional Ukrainian motanka doll. Through this image, I address the themes of Ukrainian roots, cultural identity, and continuity. The second part of the exhibition is my graphic series "Places of Memory" consisting of three works created using digital printing techniques. The series represents my personal artistic reflection

on the tragic attempts of the Soviet totalitarian regime to destroy the Ukrainian intelligentsia. While "Motanka" speaks of our roots, "Places of Memory" is dedicated to the tragic attempts to destroy them. In my works, I address the memory of places where the Soviet totalitarian regime carried out the mass persecution and destruction of members of the Ukrainian intelligentsia. The series comprises three works: "The Slovo Building", "Sandarmokh", "Bykivnia Graves".

The first work focuses on the Slovo Building in Kharkiv (Fig. 2). This residential building, constructed in the shape of the letter "С" (від укр. «слово») in the late 1920s, was designed for Ukrainian writers, poets, film directors, and other representatives of the creative intelligentsia. The building was intended to provide a comfortable environment for living and creative work. However, this comfort soon turned into a trap. Telephones were used for surveillance, and the building itself came under the scrutiny of the Soviet secret services. Over several years, more than 70 artists and intellectuals associated with the Slovo Building were subjected to repression. In this way, an entire generation of Ukrainian culture, known as the "Executed Renaissance", was destroyed. In my work, I perceive the Slovo Building not merely as an architectural landmark but as a symbol of a generation of Ukrainian artists and intellectuals that possessed enormous creative potential yet became victims of the totalitarian system.

The second work depicts "Sandarmokh", a remote site in Karelia (Fig. 3). It was here, in the isolated forests, that a secret convoy from the Solovki prison camp was transported. Over several days, from October 27 to November 4, 1937, 1.111 people were executed Among them were prominent representatives of Ukrainian culture, including film director Les Kurbas, writer Valerian Pidmohylnyi, playwright Mykola Kulish, and others. Sandarmokh became a mass grave for representatives of more than 58 nationalities [3]. For me, this place symbolizes the attempt of the totalitarian system to physically destroy not only people but also their ideas, creative work, and cultural memory. In creating this work, I address the question: what happens to the memory of people whom authorities attempted to erase from history forever? Art provides an opportunity to speak about them again, restore their names, and recall their contribution to culture.

The third work brings us back to Kyiv and the "Bykivnia graves" (Fig. 4). Bykivnia Forest is one of the largest sites in Ukraine associated with the secret burial of victims of Stalin's Great Terror of 1937–1941. Bodies of people executed in Kyiv prisons were secretly transported at night to this secluded forest outside Kyiv. For decades, the Soviet authorities concealed the truth about these crimes. Estimates indicate that tens of thousands of people are buried in the soil of Bykivnia, including members of the intelligentsia, workers, Kyiv residents, and other victims of the repressive system [4]. For me, Bykivnia is a symbol of memory that authorities attempted to conceal but could never completely destroy. The earth preserves what the totalitarian regime sought to erase from history.

My three works – "The Slovo Building", "Sandarmokh" and "Bykivnia Graves" – form a distinctive geography of memory. These are different places, located at considerable distances from one another, yet connected by a shared history of

repression, violence, and attempts to destroy the Ukrainian cultural and intellectual environment.

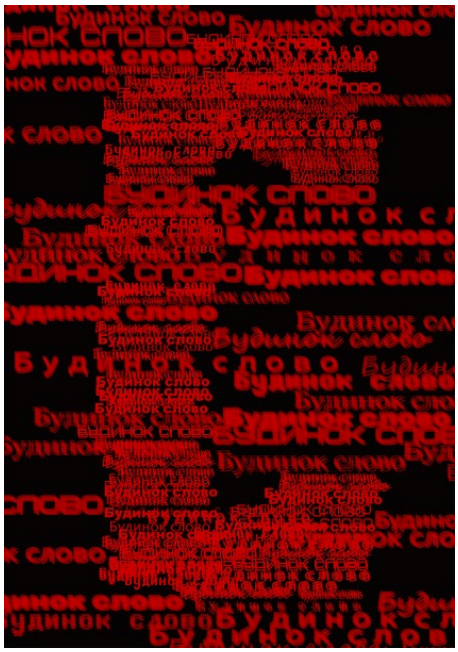

Figure 2 – “The Slovo Building” (original artwork)

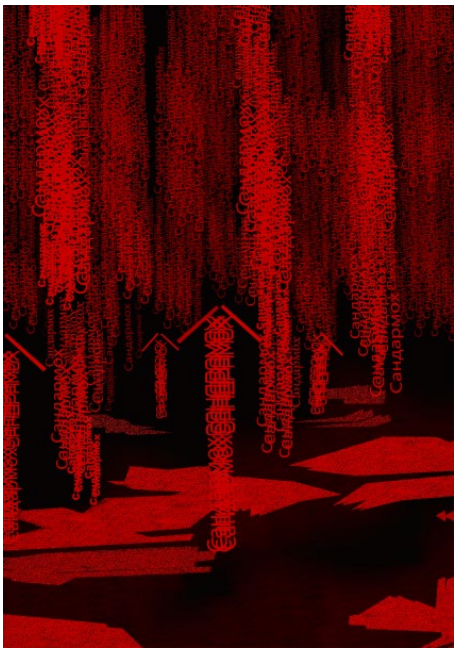

Figure 3 – “Sandarmokh” (original artwork)

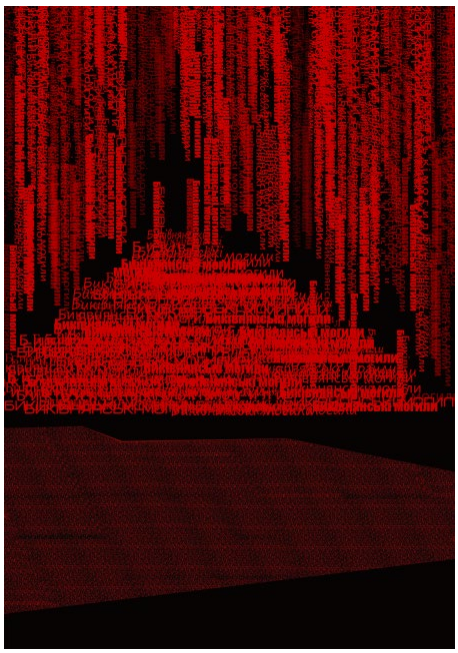

Figure 4 – “Bykivnia Graves” (original artwork)

For me, “Places of Memory” is not merely a story about the past. It is my personal artistic dialogue with history and an attempt to reflect, through contemporary graphic art, on the tragedies experienced by Ukrainian culture. I do not want these places to remain merely names in historical documents. Behind each name are human lives, creative work, families, dreams, and unrealized possibilities.

That is why, in my works, I seek not simply to depict a place but to restore its memory. For me, art in this project becomes a way of speaking about what was silenced, preserving the memory of those whom attempts were made to erase from history, and passing this memory on to future generations.

The exhibition “Places of Memory” and “Motanka” provided an opportunity to present my understanding of Ukrainian identity through two interconnected themes. “Motanka” speaks of Ukrainian roots, tradition, and cultural continuity. “Places of Memory” addresses the tragic attempts to destroy these roots. Together, the two series form, for me, a coherent narrative about Ukrainian culture – its roots, memory, losses, and capacity to endure despite attempts to destroy it.

“Places of Memory” is my artistic manifesto: memory cannot be executed, and culture cannot be buried.

References

1. Ukrainian House in Rzeszów. (2026, September 24). Vidkryttia vystavky hrafiky “Mistsia pamiati” ta fotohrafii “Motanka” / Otwarcie wystawy grafiki “Miejsca pamięci” i fotografii “Motanka” [Opening of the exhibition of graphics “Places of Memory” and photographs “Motanka”] [Facebook post]. Facebook. https://www.facebook.com/ukrdim.rz/posts/1222313564665525 63/
2. Suspilne Kultura. (2022, June 9). Istoriia budynku "Slovo": Vid represiĭ proty meshkantsiv do ruinuvan Rosieiu [History of the "Slovo" Building: From Repressions against Its Residents to Destruction by Russia]. https://suspilne.media/culture/247855-istoria-budinku-slovo-vid-represij-proti-meskanciv-do-rujnuvan-rosieu/
3. Suspilne Kultura. (2022, November 3). 1111 zhertv Sandarmokhu: Trahediia “Rozstrilianoho vidrodzhennia,” yaku Ukraina ne maie prava zabuty [1,111 victims of Sandarmokh: The tragedy of the “Executed Renaissance” that Ukraine has no right to forget]. https://suspilne.media/culture/304136-1111-zertv-sandarmohu-tragedia-rozstrilanogo-vidrodzenna-aku-ukraina-ne-mae-prava-zabuti/
4. Ukrainian Institute of National Memory. (2019, May 7). Bykivnianska trahediia [The Bykivnia tragedy]. https://uinp.gov.ua/aktualni-temy/bykivnyanska-tragediya

Section: Information Technology, Cyber Security and Computer Engineering

TEACHING BLACK-BOX TEST DESIGN THROUGH EQUIVALENCE PARTITIONING, BOUNDARY VALUE ANALYSIS, AND DECISION TABLES IN THE SIMPLE BOOKING SYSTEM

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

Abstract. The paper presents a methodological approach to teaching Black-Box test design through the combined use of Equivalence Partitioning (EP), Boundary Value Analysis (BVA), and Decision Tables in the Simple Booking System educational project. The approach addresses a typical learning problem: students often create test cases by intuition and accumulate redundant examples without a clear rationale for data selection. The proposed methodology organizes test design as a sequence of three analytical filters. EP reduces the input domain to representative valid and invalid classes; BVA concentrates testing around transitions between these classes; Decision Tables formalize combinations of conditions that determine business outcomes. The approach is demonstrated using booking-duration limits and booking-confirmation rules. A compact methodological matrix links a requirement, a test-design technique, selected test data, and the expected educational result. The proposed structure shifts student activity from mechanical test-case writing toward evidence-based reasoning about coverage, redundancy, boundaries, and business rules.

Keywords: Black-Box testing, Equivalence Partitioning, Boundary Value Analysis, Decision Tables, test design, Simple Booking System, software testing education, QA, SDET.

Introduction. Software testing education requires students to learn not only how to execute checks but also how to justify why a particular set of test data is sufficient. In practical work, novice testers frequently select “convenient” values, repeat similar positive scenarios, and add negative cases only after a defect has already been observed. Such an approach creates many test cases but does not guarantee systematic coverage of the input domain or business logic. Black-Box testing provides a suitable methodological basis for overcoming this problem because the tester derives checks

from requirements, externally observable behaviour, and expected results rather than from implementation details [3].

The educational course “Software Testing Technologies” treats Black-Box testing as a specification-oriented strategy in which the student works with input data, system state, and expected output without relying on the internal code structure. In the Simple Booking System (SBS), this means that booking limits, search parameters, user roles, cancellation policies, and price conditions can be analysed as externally observable business rules. The course explicitly combines EP, BVA, and Decision Tables to reduce the number of checks while preserving coverage of meaningful logical classes [1].

The central educational difficulty is the combinatorial growth of possible inputs. A booking system may contain dates, prices, user categories, payment states, room types, cancellation intervals, and several interacting flags. Exhaustive testing is therefore infeasible even in a compact student project. The practical task is to transform a large or potentially infinite input space into a small set of representative tests whose selection can be explained and defended. This corresponds to the general principle of systematic test design: test data should be selected according to identified characteristics and risks rather than by random enumeration [4].

EP, BVA, and Decision Tables solve different parts of this problem. EP groups input values that are expected to produce equivalent behaviour. BVA focuses on transitions where small changes in input may alter the outcome. Decision Tables address situations in which the result depends on combinations of conditions. When these techniques are taught separately, students may understand their definitions but fail to see how they cooperate in a real test-design workflow. Therefore, the methodological focus of this study is their sequential use within one booking-domain scenario.

Aim and objectives of the study. The aim of the study is to substantiate a methodological approach to teaching Black-Box test design through the combined use of Equivalence Partitioning, Boundary Value Analysis, and Decision Tables in the Simple Booking System educational project. The objectives are to define a three-stage test-design workflow; demonstrate the transformation of business requirements into equivalence classes, boundary points, and logical rules; show how redundant checks can be reduced without losing meaningful coverage; and identify the educational outcomes that can be assessed in students’ reports.

Materials and methods. The study is based on the content of Lecture 4 and Laboratory Work 4 of the course “Software Testing Technologies”. The laboratory work positions the student as a test architect who must solve the problem of combinatorial explosion by applying three consecutive analytical filters: EP, BVA, and Decision Tables. The practical work is performed on business rules of the Simple Booking System and is documented in a Test Management System [2].

The first stage is requirement decomposition. The student identifies input parameters, business conditions, and expected outcomes. This step prevents premature writing of test cases and makes the source of each test explicit. For a booking-duration

requirement, for example, the input parameter is the number of nights, while the outputs may include successful booking, discount application, or validation error. For a booking-confirmation rule, the inputs may include VIP status, duration range, and payment state, while the output is a booking status such as INSTANT or PENDING.

The second stage applies EP and BVA to ordered or measurable parameters. EP partitions the domain into valid and invalid classes that are expected to be processed similarly. A representative value is selected from each class. BVA then refines this model by selecting values directly on, immediately below, and immediately above a boundary. In educational terms, this creates a clear distinction between a representative test and a boundary-focused test. The laboratory methodology recommends two-point or three-point boundary strategies depending on the risk and nature of the rule [2].

The third stage uses a Decision Table for intersecting logical conditions. Conditions are placed in rows, possible combinations are represented as rules, and actions describe the required system outcome. The “don’t care” symbol is used where a condition does not influence a particular rule. This operation is important pedagogically because it teaches students to distinguish meaningful logical combinations from mechanically generated permutations.

Table 1. Three-stage methodological matrix for Black-Box test design.

Stage	Technique	Student action	Main learning outcome
1	EP	Partition the input domain into valid and invalid classes; choose representative values.	Reason about redundancy and representative data.
2	BVA	Identify lower and upper boundaries; select On/Off/In points.	Recognize transition zones and off-by-one risks.
3	Decision Table	List conditions and actions; construct and optimize rules.	Model interacting business conditions without missing cases.

Research results and discussion. The first result of the proposed methodology is a transparent chain from requirement to test data. Consider the SBS rule that a room may be booked for a period from 1 to 30 nights inclusive. If students test only typical values such as 5, 10, and 20, all tests may pass while the implementation still contains an error at the lower or upper limit. EP first identifies three broad classes: values below the permitted range, values inside the range, and values above the permitted range. Representative values such as 0, 15, and 31 already express the logical structure of the requirement better than several arbitrary valid values.

BVA then concentrates on the transitions between these classes. For the same rule, a robust set of points may include 0, 1, 2 near the lower boundary and 29, 30, 31 near the upper boundary. Each value has a methodological role: 0 and 31 challenge rejection logic, 1 and 30 verify the exact inclusive boundaries, while 2 and 29 confirm behaviour immediately inside the valid domain. The educational value of this representation is that the student can explain the purpose of every data point. The test set is not “small because time is limited”; it is small because the selected points represent distinct behavioural risks.

The second result concerns the relationship between EP and BVA. These techniques should not be presented as alternatives. EP provides the structural map of the input domain, whereas BVA increases precision around the borders of that map. Teaching them sequentially prevents a common misconception in which students add many boundary values without first defining what classes those boundaries separate. It also makes it easier to discuss negative testing because invalid partitions become explicit objects of analysis rather than accidental error cases.

The third result concerns complex booking logic that cannot be represented by a single numeric range. Laboratory Work 4 includes a booking-confirmation rule in which the status is INSTANT when the user is VIP or when the stay duration is within the interval from 3 to 21 days and full payment has been made; otherwise the status is PENDING [2]. A compact Decision Table can represent this rule with a small number of meaningful combinations rather than all possible permutations.

Table 2. Decision Table for the booking-confirmation rule.

Condition / Action	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**
VIP user	Y	N	N	N
Duration 3–21 days	–	Y	Y	N
Full payment	–	Y	N	–
INSTANT	X	X		
PENDING			X	X

Rule R1 shows that VIP status alone is sufficient for INSTANT confirmation; the remaining conditions are irrelevant and are therefore marked with "–". Rule R2 represents a non-VIP user whose duration satisfies the required interval and whose booking is fully paid. Rules R3 and R4 capture the PENDING outcomes. This form forces the student to reason about causality: which condition changes the result, which condition is irrelevant, and which combination has not yet been represented. As a result, Decision Tables become not merely a documentation technique but a tool for validating the completeness and consistency of the requirement itself.

The fourth result is a practical criterion for assessing student work. Instead of grading reports mainly by the number of test cases, the instructor can evaluate whether each case has a traceable rationale. For EP, the student should name the class and explain why the selected value is representative. For BVA, the student should identify the boundary and the point type (for example, On or Off). For Decision Tables, the student should identify the rule that the case implements. This changes the educational objective from "write many tests" to "justify a compact and sufficient test set".

A useful report structure therefore consists of four linked artefacts: a decomposed requirement; an EP/BVA table; a Decision Table for combinational logic; and the corresponding test cases in the TMS. The course laboratory work requires students to include the engineering rationale in the test-case description, which creates direct traceability between an abstract test-design concept and an executable or manually reproducible verification procedure [2]. This traceability also supports later automation because the purpose of each test is already defined before code is written.

The methodology also supports the transition from manual testing toward SDET practice. Automation frameworks can execute checks quickly, but they do not determine which inputs are representative. EP, BVA, and Decision Tables therefore remain relevant when cases are later implemented in Jest, Postman, or Cypress. This distinction separates test design from test execution and discourages the assumption that a large automated suite is necessarily a well-designed suite.

Conclusions. A methodological approach to teaching Black-Box test design through the sequential use of EP, BVA, and Decision Tables in the Simple Booking System has been substantiated. The approach structures test design as three analytical filters: partitioning the input domain, concentrating on boundary transitions, and modelling combinations of business conditions. The examples demonstrate how arbitrary values can be replaced by representative classes, explicit boundary points, and a compact logical rule set. The main educational effect is the transition from intuitive test-case accumulation to evidence-based selection with an explicit rationale. In laboratory work, this makes it possible to assess whether students can justify a test, identify the risk it addresses, and connect it to a requirement. Further work may include automated generation of candidate boundary cases and comparison of student-designed and tool-generated test sets.

References

1. Kalashnyk, V. Yu. (2026). Tekhnolohii testuvannia prohramnoho zabezpechennia: Konspekt lektsii dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity spetsialnosti F3 “Kompiuterni nauky” [Software Testing Technologies: Lecture notes for higher education students majoring in F3 “Computer Science”]. Kyiv National University of Technologies and Design.
2. Kalashnyk, V. Yu. (2026). Tekhnolohii testuvannia prohramnoho zabezpechennia: Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit [Software Testing Technologies: Guidelines for laboratory works]. Kyiv National University of Technologies and Design.
3. Copeland, L. (2004). A Practitioner’s Guide to Software Test Design. Artech House. ISBN: 978-1580537919.
4. Myers, G. J., Sandler, C., & Badgett, T. (2011). The Art of Software Testing (3rd ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-1118031264.
5. ISO/IEC/IEEE 29119-4:2021. Software and systems engineering — Software testing — Part 4: Test techniques. International Organization for Standardization.
6. Kalashnyk, V. Yu., & Kolysko, O. Z. (2025). Alhorytmichna optymizatsiia rehresiinoho testuvannia v mikroservisnykh arkhitekturakh: teoretychnyi ta praktychnyi aspekty [Algorithmic optimization of regression testing in microservice architectures: theoretical and practical aspects]. In Science, Education, and Society in the Context of Globalization: New Development Paradigms (pp. 161–164). ISBN: 978-1-968285-80-7.

UDC 004.056:004.5

DEEP PACKET INSPECTION (DPI) OF IOT PROTOCOLS: DETECTING STRUCTURAL VULNERABILITIES IN SMART HOME DEVICE COMMUNICATION

Kononenko Oleksandr
2nd-year cadet
Serdukov Nazar
2nd-year cadet
Lehostaieva Polina
2nd-year cadet
Kurinnyi Illia
2nd-year cadet
Educational and Scientific Institute No. 4
Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine
Academic Supervisor:
Vadym V. Maltsev
Lecturer
Department of Cybercrime Counteraction
Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine

Introduction. The proliferation of Internet of Things (IoT) devices has fundamentally transformed residential and corporate environments into interconnected smart ecosystems. Unlike conventional computing systems, smart home devices operate under severe hardware constraints, possessing limited processing power, minimal memory, and restricted battery capacities. To accommodate these limitations, manufacturers deploy lightweight communication protocols. While these protocols ensure rapid data transmission and low power consumption, they frequently sacrifice fundamental security mechanisms, such as payload encryption and robust authentication.

Traditional perimeter defenses, including stateful inspection firewalls, are insufficient for securing IoT environments. These legacy systems operate primarily at the transport and network layers, evaluating traffic based strictly on source IP addresses and destination ports. However, sophisticated cyber attacks against smart homes encapsulate malicious commands within legitimate protocol structures. To detect and neutralize these application layer threats, security operations must utilize Deep Packet Inspection (DPI). This paper investigates the structural vulnerabilities inherent in common IoT protocols and demonstrates how DPI methodologies can be deployed to systematically identify and mitigate smart home communication exploitation.

Architectural Flaws in Lightweight IoT Protocols. The operational foundation of most smart home environments relies on machine to machine (M2M)

communication protocols, predominantly Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) and the Constrained Application Protocol (CoAP).

MQTT utilizes a centralized publish and subscribe architecture. Devices do not communicate directly with one another. Instead, sensors (publishers) send data streams to a central server known as a broker. Actuators (subscribers) listen to specific topics on this broker to receive commands. The structural vulnerability of MQTT lies in its default configuration. To minimize processing overhead, MQTT natively transmits all authentication credentials and payload data in unencrypted plaintext. An attacker positioned on the local network can passively sniff the traffic to intercept the broker administration password, granting them total control over every connected device in the home.

CoAP, designed as a lightweight alternative to HTTP, operates over the User Datagram Protocol (UDP). The stateless nature of UDP completely eliminates the protective three way handshake found in TCP. This structural choice makes CoAP highly susceptible to IP spoofing. Attackers can forge the source IP address of their packets to impersonate a legitimate smart home controller, sending unauthorized configuration commands directly to vulnerable endpoints like electronic door locks or security cameras.

Implementing Deep Packet Inspection for Protocol Dissection. Deep Packet Inspection transcends port filtering by analyzing the actual data payload at Layer 7 of the OSI model. However, commercial DPI engines often lack signatures for proprietary or non standard IoT protocols. To achieve comprehensive visibility, security analysts must develop custom protocol parsers, known as dissectors.

Using network analysis platforms like Wireshark, engineers can write custom DPI scripts utilizing the Lua programming language. These scripts instruct the packet analyzer on how to interpret the byte structure of an unknown smart home protocol. When a packet arrives, the custom Lua dissector programmatically extracts specific fields, such as the device firmware version, the requested action state, and the authentication token.

By exposing these granular variables, analysts can construct precise detection rules. For example, a DPI rule can be configured to alert administrators if a smart thermostat attempts to establish an external connection to a geographic region outside the local country, or if a security camera begins transmitting an unusually high volume of data to an unknown cloud server at night.

Table 1. Common Smart Home Protocols and Corresponding DPI Focus Areas

IoT Protocol	Transport Mechanism	Structural Vulnerability	DPI Inspection Focus
MQTT	TCP (Port 1883)	Plaintext credentials, unencrypted command topics.	Extraction of CONNECT packets to verify credential complexity and monitor SUBSCRIBE topics.
CoAP	UDP (Port 5683)	Susceptibility to IP spoofing and replay attacks.	Analysis of Message ID sequences to detect anomalous command duplication.
Zigbee	IEEE 802.15.4 Radio	Weak default encryption keys.	Monitoring of network join requests and key exchange mechanisms over the air.
UPnP	UDP/TCP (Various)	Unauthenticated port forwarding capabilities.	Inspection of SOAP XML payloads for malicious router reconfiguration attempts.

Textual Abstraction of Payload Entropy Analysis. A critical function of advanced DPI involves determining whether a smart device is properly utilizing encryption. Rather than manually inspecting thousands of packets, security systems evaluate the information density of the payload using Shannon entropy. We define this mathematical relationship using text logic to simplify the computational model.

Entropy measures the predictability of a byte sequence. A payload consisting of plaintext ASCII characters (such as simple JSON commands common in smart homes) uses a limited range of byte values. Consequently, the calculated entropy score is low. Conversely, a properly encrypted payload distributes byte values uniformly across the entire possible spectrum. The resulting entropy score approaches its theoretical maximum.

During deep packet inspection, the system dynamically calculates the entropy of the application layer data. If a security policy mandates that all video streams from a smart camera must be encrypted, but the DPI engine calculates a low entropy score for the outgoing stream, the system immediately flags a structural vulnerability. This indicates that either the encryption module on the camera has failed, or the device has been subjected to a downgrade attack, forcing it to transmit sensitive data in plaintext.

Visualizing Protocol Exploitation and Mitigation. To illustrate the necessity of DPI, we model an unauthorized command injection against an MQTT broker managing a smart home physical security system. Without DPI, the firewall only sees authorized traffic on TCP port 1883.

Developing Defensive Architectures for IoT Environments. To effectively neutralize these structural vulnerabilities, organizations and advanced residential users must implement network segmentation combined with inline DPI appliances.

The defense architecture dictates that all IoT devices must be isolated on a dedicated Virtual Local Area Network (VLAN). This segment must be structurally prohibited from initiating connections to the primary workstation network. All traffic bridging the IoT VLAN and the internet must pass through an Intrusion Prevention System (IPS), such as Suricata, equipped with custom DPI rulesets.

Furthermore, administrators must enforce structural hardening at the protocol level. For MQTT, this requires disabling anonymous broker access and enforcing Transport Layer Security (TLS) wrapping around the port 1883 traffic. For CoAP, Datagram Transport Layer Security (DTLS) must be implemented to prevent UDP spoofing and ensure payload confidentiality.

Conclusions. The rapid deployment of smart home technologies has introduced significant structural vulnerabilities into modern networks. Lightweight protocols like MQTT and CoAP prioritize operational efficiency over security, rendering traditional port based firewalls obsolete. Deep Packet Inspection provides the necessary analytical depth to secure these constrained environments. By developing custom protocol dissectors using scripting languages like Lua, security teams can peer into the application layer, extracting plaintext credentials and identifying malicious command injections.

Furthermore, integrating information theory concepts, such as payload entropy analysis, allows automated systems to detect encryption failures in real time. Securing the IoT landscape requires abandoning perimeter only defenses in favor of granular,

application aware inspection architectures. Only through the systematic application of DPI can we ensure the integrity and privacy of interconnected smart ecosystems.

References

1. Sikder, A. K., Petracca, G., Aksu, H., Trent, T., & Uluagac, A. S. (2021). A Survey on Sensor Based Threats and Attacks to Smart Devices and Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials.
2. Hanes, D., Salgueiro, G., Grossetete, P., Barton, R., & Henry, J. (2017). IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things. Cisco Press.
3. Orebaugh, A., Ramirez, G., & Beale, J. (2006). Wireshark & Ethereal Network Protocol Analyzer Toolkit. Syngress. (Reference for Lua dissector scripting).
4. Chacon, Rodrigo. (2020). MQTT Security: A Comprehensive Guide to Securing IoT Systems. Packt Publishing.
5. National Institute of Standards and Technology. (2021). NISTIR 8259A: IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline. U.S. Department of Commerce.
6. Sanders, C. (2017). Practical Packet Analysis: Using Wireshark to Solve Real-World Network Problems (3rd ed.). No Starch Press.

ANALYSIS OF USERS' DIGITAL FOOTPRINTS IN OPEN SOURCES

Nechyporuk Vladyslav
2nd year cadet
Kamianskyi Yaroslav
2nd year cadet
Kulyk Oleksandr
2nd year cadet
Rozhenko Andriy
2nd year cadet
ORCID ID: 0009-0000-5035-6441
Scientific advisor:
Kaliakin Serhii
Senior Lecturer
Department of Counteracting Cybercrime,
Kharkiv National University of Internal Affairs
ORCID ID: 0000-0003-3946-0189

The rapid digitalization of social processes leads to a rapid growth in the volume of information that is voluntarily or involuntarily disclosed by users in the open digital space. In these conditions, the OSINT (Open Source Intelligence) methodology is gaining more and more attention - intelligence based on open sources, which includes the systematic collection, processing and analysis of publicly available information in

order to form practically applicable conclusions [1]. It is the OSINT concept that forms the methodological basis for studying the digital traces of users, since it allows you to transform disparate, fragmented digital data into a coherent, structured picture of a specific person or event.

The term OSINT was historically formed in the military intelligence and diplomatic spheres, where open sources (press, radio broadcasting, official publications) were used as an auxiliary tool for analytical work along with established channels for obtaining information. With the development of Internet technologies, the scope of OSINT application has expanded significantly, covering cyber intelligence, journalistic investigations, business checks of business partners, as well as combating cybercrime [2]. Typical categories of open sources used within OSINT investigations include: social networks and messengers, search engines, geospatial and mapping services, state registers and official databases, as well as data leaks that become publicly available.

The direct object of OSINT analysis is the user's digital footprint (digital foodprint) - a set of data recorded for a specific person in cyberspace and reflecting his unique, personalized path of digital activity. The main types of such activity include: scrolling Internet pages, interaction with social networks, forming search queries, posting posts.

Among the key properties of digital traces, researchers distinguish the following: a) digital form of existence (absence of traditional material form); b) are formed as a result of the interaction of a certain object with digital devices, technologies and information networks; c) are located in digital space (server, computer, smartphone, etc.); d) are subject to detection and research using certain equipment and (or) specialized software; e) the possibility of copying them (making duplicates) without loss of quality (including remotely); e) the possibility of their remote modification, destruction [3].

Within OSINT, it is customary to distinguish between active and passive intelligence, which directly correlates with the active and passive nature of the user's digital footprint. An active digital footprint is formed when the subject consciously and directly creates content or distributes information on his own behalf. A passive digital footprint, on the other hand, is formed without the person being properly informed about the fact of its recording or further storage - it includes cookies, server log files, metadata, geolocation tags and visit history. Research within passive OSINT intelligence does not involve direct content with the object and is carried out exclusively on publicly available data, which minimizes the risk of the analyst being detected.

Ukrainian legislation mostly classifies digital traces obtained using OSINT methods as electronic documents that can be used in court as evidence. At the same time, the current Criminal Procedure Code of Ukraine is not sufficiently standardized in terms of regulating the procedure for obtaining digital information from open sources, as well as the verification and evaluation of already obtained digital information, because the existing criminal procedure provisions are not sufficient to unambiguously qualify such sources as ordinary evidence [4].

Thus, OSINT methodology is a key tool that allows transforming disparate digital traces into a coherent information picture for effective counteraction to cybercrime. At the same time, the use of intelligence results faces legal obstacles regarding obtaining, verifying and evaluating digital information from open sources.

References

1. Hwang, Y.-W., Lee, I.-Y., Kim, H., Lee, H., & Kim, D. (2022). Current Status and Security Trend of OSINT. Wireless Communications and Mobile Computing, 2022, 1–14. URL: https://www.researchgate.net/publication/358717706_Current_Status_and_Security_Trend_of_OSINT
2. Zemlyanikina, Maria, and Nataliya Volodymyrivna Zhmur. "History of the formation and current state of OSINT information retrieval technology ." Scientific works of National Aviation University. Series: Law Journal" Air and Space Law" 3.64 (2022): 95-101.
3. Demidova E.E. Digital traces of criminal offense: concepts and features. Scientific Bulletin of Uzhgorod National University, Series LAW. Issue 85: part 4. 2024. Pp. 71–75. DOI https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.85.4.10.
4. Volos V. Peculiarities of detection and fixation of digital traces in the investigation of crimes committed by organized groups. Forensic science of the future: digital innovations, artificial intelligence, global challenges and threats: collection of materials of the international scientific-practical conference (Odessa, June 5 , 2026) / general editors S. Kivalova, M. Arakelyana. Odessa : National University "Olya University ", 2026. P. 381–383 . URL : https://doi.org/10.32837/11300.33565

ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ НАРАТИВУ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГЕНТИ У СУЧАСНИХ ВІДЕОІГРАХ

Нестеров Артем Дмитрович
аспірант
Федотова Наталія Анатоліївна
к.т.н., доцент
Кафедра інформаційних технологій
Сумський державний університет, Україна

Сучасна ігрова індустрія, попри колосальні технологічні досягнення у візуалізації та фізичному моделюванні, стикається з «наративним плато». У той час як графічний контент дедалі частіше створюється методами процедурної генерації, сюжетне наповнення більшості комерційних проєктів залишається статичним, покладаючись на жорстко детерміновані діалогові дерева та ручне скриптування [1; 2]. Це обмежує емерджентний потенціал ігрових світів, де

неігрові персонажі (NPC) функціонують лише як «незмінний декор», неспроможний до активної участі у формуванні цілісної історії.

Фундаментальний виклик процедурної генерації наративу полягає у вирішенні дилеми: збереження драматургічної якості авторського сюжету за умов забезпечення повної автономності та соціальної адаптивності агентів. Ключовим завданням сучасної науки у цій галузі є трансформація індивідуальної поведінки автономних NPC у структуровані, когерентні квестові ланцюжки.

Традиційні підходи до процедурної генерації квестів зазвичай розглядають квест як формальну послідовність типізованих дій: збір предметів, ліквідація цілі, доставка або супровід. Подібні шаблони, що лежать в основі архітектури MMORPG, таких як World of Warcraft чи Final Fantasy XIV, забезпечують стабільний ігровий цикл, проте швидко втрачають наративну привабливість через свою передбачуваність.

Агентно-центрований підхід пропонує принципово іншу парадигму: джерелом квестів стає не шаблон, а конфлікт цілей автономних NPC. У такій моделі наратив генерується динамічно: якщо агент-торговець має на меті поповнення запасів дефіцитного ресурсу, а агент-бандит планує перехоплення цього ж ресурсу, зіткнення їхніх планів автоматично створює простір для емерджентного квесту. Для гравця це трансформується у набір варіативних сценаріїв: від традиційної охорони каравану до переговорів із бандитами або пошуку альтернативних джерел постачання.

Агентна парадигма надає різним NPC власні внутрішні стани, пам’ять, цілі та можливість планування подальші дії. Архітектура генеративних агентів [2; 3] складається з трьох основних модулів (табл. 1).

Таблиця 1 – Архітектурні компоненти генеративного агента

Модуль	Функція	Внесок у поведінку
Потік спостережень	Фіксація подій середовища природною мовою	Ситуативна обізнаність
Ієрархічна пам’ять	Зберігання досвіду, синтез рефлексій	Когерентність дій у часі
Планувальник	Генерація та адаптація денного плану	Цілеспрямованість і автономність
Система відновлення	Динамічний пошук релевантних спогадів	Контекстна адекватність реакцій

Таким чином, використання ШІ дозволяє замінити статичне проєктування сценаріїв динамічним виникненням сюжетних колізій, що є ключовим для реалізації справжньої процедурної розповіді у відкритих світах.

Збільшення кількості автономних одиниць породжує проблему наративної когерентності. Без централізованого контролю агенти схильні створювати абсурдні або суперечливі ситуації, що руйнують логіку світу, наприклад, нелогічні переміщення або порушення причинно-наслідкових зв’язків.

Для вирішення цієї проблеми застосовуються інноваційні методи контролю:

● Narrative Graph (Inworld AI): візуалізована структура сюжету, яка дозволяє дизайнеру встановлювати «коридори» для агентної автономності.

● Координаційний рівень: функціонує як фільтр когерентності, що валідує плани агентів на відповідність фізичним законам і наративним інваріантам гри.

Для наочної демонстрації еволюції NPC-поведінки від скриптової до агентної парадигми на рис. 1 подано приклад інтерфейсу прототипу NEO NPC від Ubisoft та Inworld AI, де неігровий персонаж демонструє здатність до контекстного діалогу, мотивованого його внутрішніми цілями.

Рисунок 1. Прототип NEO NPC від Ubisoft та Inworld AI: неігровий персонаж із контекстним діалогом, мотивованим внутрішніми цілями агента

Найбільш перспективним для процедурної генерації контенту є поєднання LLM із класичними інструментами ігрового ШІ. Гібридна архітектура, запропонована Дж. Ао та Ф. Ву, розподіляє ролі:

1. Мовна модель забезпечує стратегічне планування та складну соціальну взаємодію.

2. Дерева поведінки гарантують детерміноване та обчислювально дешеве виконання тактичних дій.

Для запобігання «галюцинаціям» ШІ у таких системах використовуються графи знань та жорсткі валідатори обмежень. Це гарантує, що процедурно згенерований наратив не порушуватиме ігрові правила: агент не зможе використовувати відсутні предмети або взаємодіяти з недоступними локаціями. У такий спосіб формується надійна база для створення емерджентних сценаріїв, що поєднують глибину ШІ з надійністю традиційного програмування.

Список використаних джерел

1. Bevilacqua F. Finite-State Machines: Theory and Implementation [Електронний ресурс] / F. Bevilacqua // Envato Tuts+. – Режим доступу: https://code.tutsplus.com/finite-state-machines-theory-and-implementation--gamedev-11867t (дата звернення: 09.09.2026).

2. Delassus D. AI Toolkit – Give a brain to your NPCs, a header-only C++ library [Електронний ресурс] / D. Delassus // Medium. – Режим доступу: https://david-delassus.medium.com/ai-toolkit-give-a-brain-to-your-npcs-a-header-only-c-library-02a50ae9faed (дата звернення: 09.09.2026).
3. Park J. S. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior [Електронний ресурс] / Park J. S., O'Brien J. C., Cai C. J., Morris M. R., Liang P., Bernstein M. S. // arXiv. – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2304.03442 (дата звернення: 09.09.2026).

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ПЛАСТИЧНОЇ ХІРУРГІЇ: СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Горобець Іван
здобувач ступеня доктора філософії (PhD)
Кафедра інформаційних систем та технологій
Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Анотація. У статті розглянуто основні напрями діджиталізації пластичної та реконструктивної хірургії в умовах розвитку цифрової трансформації охорони здоров'я. Обґрунтовано перехід від простого електронного документообігу до формування інтегрованого інформаційно-аналітичного середовища, у якому поєднуються електронні медичні дані, цифрова фотодокументація, 3D-сканування, комп'ютерний зір, тривимірне моделювання, машинне навчання та штучний інтелект. Запропоновано функціональну структуру інтелектуальної інформаційної системи пластичної хірургії та послідовність цифрового супроводу пацієнта.

Ключові слова: Діджиталізація, пластична хірургія, цифрові медичні дані, 3D-сканування, 3D-моделювання, комп'ютерний зір, штучний інтелект, машинне навчання, цифрова фотодокументація, інформаційна система.

Введення. Сучасна діджиталізація охорони здоров'я виходить за межі переведення медичної документації в електронну форму. Вона передбачає формування інтегрованого цифрового середовища, у якому поєднуються медичні дані, цифрова фотографія, тривимірне сканування, комп'ютерний зір, моделювання та алгоритми штучного інтелекту.

Пластична та реконструктивна хірургія є одним із напрямів медицини, у якому цифрові технології мають значний практичний потенціал. Результативність хірургічного втручання пов'язана, зокрема, з точністю оцінювання анатомічних параметрів, симетрії, пропорцій та динаміки змін зовнішності.

За даними сучасних систематичних оглядів, штучний інтелект уже досліджується для передопераційного оцінювання пацієнтів, планування втручань, аналізу фотографій, прогнозування результатів та післяопераційного контролю. Водночас більшість таких технологій ще потребує додаткової клінічної валідації та стандартизації. [1–2].

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження полягає у визначенні основних напрямів діджиталізації пластичної та реконструктивної хірургії та обґрунтуванні структури інтегрованого цифрового середовища для інформаційного супроводу діагностики, планування, проведення та оцінювання результатів хірургічного лікування.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- охарактеризувати основні цифрові технології, що застосовуються або досліджуються у пластичній хірургії;
- визначити можливості цифрової фотодокументації та комп'ютерного зору для кількісного оцінювання анатомічних параметрів і результатів лікування;
- розглянути роль 3D-сканування та тривимірного моделювання у просторовому аналізі та плануванні хірургічних втручань;
- визначити потенціал машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу цифрових даних;
- сформувати функціональну структуру перспективної інтелектуальної інформаційної системи пластичної хірургії;
- визначити основні проблеми цифровізації, пов'язані з якістю даних, клінічною валідацією, алгоритмічними похибками та захистом персональної і біометричної інформації.

Результати дослідження і їх обговорення. Діджиталізацію пластичної хірургії доцільно розглядати як комплексне перетворення інформаційних процесів, що супроводжують лікування пацієнта. Її основу становить формування цифрового профілю пацієнта, у якому можуть зберігатися медична документація, стандартизовані фотографії, результати обстежень, антропометричні параметри, тривимірні моделі та інформація про перебіг лікування.

Важливим напрямом є використання комп'ютерного зору, що дає можливість автоматизовано визначати анатомічні орієнтири, вимірювати відстані та кути, оцінювати симетрію окремих ділянок обличчя, порівнювати зображення до та після операції. На відміну від традиційного візуального порівняння, цифровий аналіз дозволяє формувати кількісні показники зміни окремих параметрів для об'єктивізації аналізу результатів. [3].

Другим важливим компонентом є тривимірне моделювання та 3D-сканування, яке допомагає перейти від аналізу окремої фотографії до оцінювання просторової геометрії обличчя або іншої анатомічної ділянки. На її основі можуть визначатися об'єми, відстані, кути, контури та асиметрії. Окрему зацікавленість при цьому становить клінічне застосування смартфонів як

доступного засобу тривимірного сканування, хоча їх точність може знижуватися під час роботи зі складними та нерегулярними поверхнями. [4,5]

Подальшим етапом цифрової трансформації є інтеграція 3D-візуалізації зі штучним інтелектом та машинним навчанням. Інтелектуальна система може аналізувати сукупність цифрових параметрів, виявляти закономірності та формувати інформаційну підтримку для лікаря. Потенційно такі технології можуть використовуватися під час передопераційного планування, оцінювання можливих змін, аналізу результатів та моніторингу післяопераційного періоду. Водночас результати сучасних оглядів свідчать, що значна частина AI-рішень перебуває на етапі розроблення або обмеженої клінічної апробації, тому вони не повинні розглядатися як заміна професійного рішення хірурга. [1, 2]

Перспективною є побудова інтелектуальної інформаційної системи пластичної хірургії, функціональну структуру якої можна представити у вигляді таких взаємопов'язаних модулів:

- електронний профіль пацієнта (накопичення медичної та клінічної інформації);
- цифрова фотодокументація (стандартизоване збереження зображень);
- 3D-сканування (формування просторової моделі анатомічної ділянки);
- комп'ютерний зір (визначення орієнтирів та кількісних параметрів);
- 3D-моделювання (візуалізація можливих змін та планування);
- Machine Learning (виявлення закономірностей у масивах даних);
- порівняльний аналіз (оцінювання змін до та після втручання);
- аналітичний модуль (формування статистичних показників і звітів);
- моніторинг (накопичення інформації про динаміку результату).

Важливе значення для цифрового супроводу пацієнта має стандартизація умов отримання фотографічних і тривимірних даних, оскільки від цього залежить коректність їх подальшого порівняння. Цифрова фотодокументація може забезпечувати систематизоване накопичення матеріалів про стан пацієнта на різних етапах лікування та створювати основу для об'єктивнішого аналізу динаміки результатів. Поєднання фотографічних матеріалів із результатами 3D-сканування розширює можливості комплексного оцінювання змін, оскільки дає змогу враховувати не лише візуальні характеристики, а й просторові параметри анатомічних структур.

Перспективним є також накопичення структурованих цифрових даних для подальшого статистичного аналізу та формування інформаційної бази для дослідження результатів різних видів хірургічних втручань. Інтеграція окремих цифрових модулів дає можливість зменшити дублювання інформації та забезпечити її використання на різних етапах роботи з пацієнтом. Аналітичний модуль інформаційної системи може використовувати результати цифрових вимірювань для формування узагальнених показників і звітів, необхідних для оцінювання динаміки лікування. Особливого значення набуває можливість порівняння цифрових моделей і фотографій у часовій послідовності, що дає змогу простежувати зміни після хірургічного втручання. Застосування

мобільних цифрових засобів може розширити доступність окремих процедур цифрового моніторингу, однак отримані за їх допомогою дані потребують належної оцінки якості та відповідності встановленим умовам використання. Формування єдиного цифрового середовища також створює передумови для поєднання клінічної інформації, результатів цифрових вимірювань та аналітичних даних у межах одного інформаційного процесу.

Таким чином, подальший розвиток діджиталізації пластичної хірургії пов'язаний не стільки зі збільшенням кількості окремих цифрових інструментів, скільки з їх узгодженою інтеграцією в єдину систему інформаційної підтримки лікаря та супроводу пацієнта. У такій системі цифровий процес може мати послідовність: пацієнт → цифровий профіль → фото/3D-сканування → комп'ютерний аналіз → 3D-моделювання → підтримка планування → хірургічне втручання → цифровий післяопераційний контроль → порівняльний аналіз → накопичення даних.

Водночас діджиталізація створює низку проблем. До них належать захист персональних і біометричних даних, стандартизація цифрових зображень, якість навчальних наборів даних, алгоритмічні похибки та ризик упередженості моделей. Сучасні огляди також звертають увагу на необхідність клінічної валідації, прозорості алгоритмів та визначення відповідальності за використання AI-систем. [2, 3]

Таким чином, перспективна цифрова система пластичної хірургії має бути не просто набором окремих програмних продуктів, а єдиним інформаційно-аналітичним середовищем, у якому цифрові дані супроводжують пацієнта на різних етапах лікувального процесу.

Висновки. Діджиталізація пластичної хірургії формує нову модель організації інформаційного забезпечення медичної діяльності. Її ключовими складовими є електронні медичні дані, цифрова фотодокументація, 3D-сканування, комп'ютерний зір, тривимірне моделювання, машинне навчання та штучний інтелект. Найбільш перспективним напрямом є інтеграція зазначених технологій в інтелектуальні інформаційні системи, здатні забезпечувати кількісний аналіз, підтримку планування та об'єктивне порівняння результатів лікування. При цьому штучний інтелект доцільно розглядати як інструмент підтримки професійного рішення лікаря, а не як його заміну. Подальший розвиток цифрових технологій у пластичній хірургії потребує накопичення якісних клінічних даних, стандартизації методів цифрового вимірювання, незалежної валідації алгоритмів та належного захисту інформації.

Список використаних джерел

1. Stephanian B., Karki S., Debnath K. et al. Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Facial Aesthetic Surgery: A Systematic Review. Facial Plastic Surgery & Aesthetic Medicine. 2024. Vol. 26, No. 6. P. 679–705. DOI: 10.1089/fpsam.2024.0204.

2. Nogueira R., Eguchi M., Kasmirski J. et al. Machine Learning, Deep Learning, Artificial Intelligence and Aesthetic Plastic Surgery: A Qualitative Systematic Review. Aesthetic Plastic Surgery. 2025. Vol. 49. P. 389–399. DOI: 10.1007/s00266-024-04421-3.
3. Espinosa Reyes J. A., Puerta Romero M., Cobo R. et al. Artificial Intelligence in Facial Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. Facial Plastic Surgery. 2024. Vol. 40, No. 5. P. 615–622. DOI: 10.1055/a-2216-5099.
4. Luo Y., Zhao M., Lu J. Accuracy of Smartphone-Based Three-Dimensional Facial Scanning System: A Systematic Review. Aesthetic Plastic Surgery. 2024. Vol. 48. P. 4500–4512. DOI: 10.1007/s00266-024-04121-y.
5. Noronha C. P., Dias T. S., Santos V. S. M. et al. Accuracy and Precision Evaluation of Facial Scanning with Smartphones Compared to Three-Dimensional Facial Digitization Technology: A Systematic Review and Meta-Analysis. International Journal of Prosthodontics. 2026. DOI: 10.11607/ijp.9647.

UDC 004.056:004.5

AUTOMATION OF ANOMALY DETECTION IN ENCRYPTED NETWORK TRAFFIC USING MACHINE LEARNING METHODS

Vladislav Horobets
2nd-year cadet
Dmitro Ilchuk
2nd-year cadet
Vadim Taichuk
2nd-year cadet
Timur Hariaha
2nd-year cadet
Educational and Scientific Institute No. 4
Academic Supervisor:
Vadym V. Maltsev
Lecturer
Department of Cybercrime Counteraction
Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine

Introduction The ubiquitous adoption of cryptographic protocols across the modern internet has fundamentally altered the landscape of network security. Transport Layer Security (TLS) and Secure Sockets Layer (SSL) are critical for ensuring data privacy and integrity. However, this encryption paradigm presents a dual use scenario. Sophisticated threat actors routinely leverage encrypted channels to conceal Command and Control (C2) communications, exfiltrate sensitive data, and mask malicious payloads from perimeter defenses. Traditional Deep Packet Inspection (DPI) relies on

signature matching and payload extraction. This approach becomes obsolete when the payload is mathematically obfuscated by robust cryptographic algorithms.

To maintain visibility without compromising privacy architectures by deploying resource intensive decryption proxies, security operations must pivot to behavioral analysis. Machine learning (ML) provides the computational framework necessary to identify anomalous patterns within the metadata of encrypted flows. This paper details the development of an automated detection pipeline that utilizes Python, data science libraries, and machine learning algorithms to classify encrypted network traffic, identifying structural anomalies indicative of compromise without requiring payload decryption.

1. Theoretical Foundations of Encrypted Traffic Analysis When network traffic is encrypted, the application layer data is completely hidden. However, the cryptographic encapsulation process does not conceal the underlying structural characteristics of the network transmission. The transmission control protocol (TCP) and the initial TLS handshake expose a wealth of unencrypted metadata. Security analysts can extract statistical features from these metadata fields to build a behavioral profile of the communication.

The core principle of this methodology relies on the fact that automated malicious software behaves differently than human users. A malware implant communicating with a C2 server typically exhibits strict periodicity, uniform packet sizes for heartbeat messages, and specific cryptographic cipher suite preferences. Conversely, human web browsing is highly stochastic, characterized by asymmetric packet bursts and variable temporal delays.

The primary features extracted for machine learning analysis include:

- Temporal Flow Metrics: The interarrival time between packets, session duration, and the ratio of inbound to outbound connection times.
- Spatial Flow Metrics: The sequence of packet lengths, maximum and minimum packet sizes, and the overall byte count transferred in both directions.
- Cryptographic Metadata: Data extracted directly from the TLS Client Hello packet, including the Server Name Indication (SNI), proposed cipher suites, and TLS version extensions.

2. Data Acquisition and Feature Engineering Pipeline To automate the analysis, the infrastructure requires a robust data ingestion and preprocessing pipeline. The raw network traffic is initially captured in PCAP format using packet sniffers like Wireshark or tcpdump. However, feeding raw packets directly into a machine learning model is highly inefficient.

The pipeline utilizes Zeek (formerly Bro) or Suricata to parse the raw traffic and generate structured connection logs. These logs summarize the TCP/UDP flows into discrete records. Python scripts utilizing the Pandas library then ingest these logs to perform feature engineering. The engineering phase involves cleaning null values, normalizing numerical features to a standard scale (typically between 0 and 1), and converting categorical data into numerical vectors.

Table 1. Core Metadata Features for Machine Learning Ingestion

Feature Category	Specific Metric	Security Relevance for Anomaly Detection
Packet Length	Standard Deviation of Payload Size	Identifies automated data exfiltration which often uses uniform block sizes.
Timing	Mean Interarrival Time	Detects automated beaconing behavior of malware communicating with C2 infrastructure.
TLS Handshake	SNI and Cipher Suite Hash	Correlates unusual cryptographic capabilities with known malware families.
Flow Statistics	Ratio of Upload to Download Bytes	Highlights abnormal upstream data transfers indicative of a data breach.

3. Application of Machine Learning Algorithms The selection of the appropriate machine learning algorithm depends heavily on the availability of labeled data. In enterprise environments, normal baseline traffic is abundant, but verified malicious traffic is scarce. Therefore, the automation pipeline employs a hybrid approach utilizing both supervised and unsupervised learning models provided by the Scikit-learn library.

Supervised models like Random Forest Classifiers are trained on known datasets (such as the CIC-IDS-2017 dataset) to identify specific malware signatures based on flow statistics. These models create a multitude of decision trees to classify the traffic flow based on historical malicious profiles.

Unsupervised models, specifically Isolation Forests and Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), are crucial for detecting zero day threats. These algorithms do not require labeled malicious data. Instead, they model the normal operational baseline of the network. The Isolation Forest algorithm isolates anomalous data points by randomly selecting a feature and then randomly selecting a split value. Since malicious C2 traffic behaves fundamentally differently from normal operations, it requires fewer splits to be isolated, resulting in a high anomaly score.

4. Mathematical Abstraction of the Detection Logic To adhere to streamlined computational processing, the mathematical evaluation of the traffic avoids complex symbolic equations. Instead, the detection logic relies on a text based vector analysis.

Each network flow is represented as a multidimensional data array containing the extracted features. The machine learning model calculates the Euclidean distance between the current flow array and the cluster of normal flow arrays. If the distance exceeds a dynamically calculated threshold, the flow is flagged as anomalous. The threshold is not static; it adjusts based on the historical variance of the network, preventing an overload of false positive alerts during legitimate high traffic events like software updates.

Table 2. Comparison of ML Algorithms for Encrypted Traffic Analysis

Algorithm Type	Training Requirement	Processing Speed	Primary Use Case in Pipeline
Random Forest	Labeled datasets	Very High	Rapid classification of known malware behavioral profiles.
Isolation Forest	Unlabeled baseline data	High	Detection of novel zero day command and control beacons.
Neural Networks	Large scale labeled data	Moderate	Deep temporal analysis of complex, long duration data exfiltration.

5. System Architecture and Visual Representation To contextualize the automated detection system, we outline the deployment architecture. The system is designed to operate passively out of band, meaning it does not introduce latency to the production network.

Conclusions The automation of encrypted network traffic analysis using machine learning represents a critical evolution in digital forensics and proactive threat hunting. As adversaries increasingly utilize encryption to bypass traditional Deep Packet Inspection, defenders must transition to metadata driven behavioral analysis. The integration of robust feature extraction tools like Zeek with the analytical power of Python and Scikit-learn enables the creation of highly accurate detection pipelines.

By deploying unsupervised algorithms like Isolation Forests, organizations can identify zero day C2 communications and covert data exfiltration without compromising user privacy or maintaining complex decryption infrastructure. The implementation of interactive Streamlit dashboards further democratizes this advanced capability, transforming complex vector mathematics into actionable, real time security intelligence for network operators.

References

1. Anderson, D., & McGrew, D. (2016). Machine learning for encrypted malware traffic classification: Accounting for noisy labels and non-stationarity. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.
2. Python Software Foundation. (2026). Scikit-learn Documentation: Machine Learning in Python.
3. Ligh, M. H., Case, A., Levy, J., & Walters, A. (2014). The Art of Memory Forensics: Detecting Malware and Threats in Windows, Linux, and Mac Memory. Wiley.
4. Smith, M. (2023). Interactive Data Visualization with Streamlit: Build and deploy powerful data apps in Python. Packt Publishing.
5. European Union Advisory Mission (EUAM) Ukraine. (2025). Methodological Guidelines on Open-Source Intelligence (OSINT) and Network Telemetry for Security Analysts. Operational Documentation.
6. Zheng, A., & Casari, A. (2018). Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques for Data Scientists. O'Reilly Media.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.007.151-155

COMPARATIVE ANALYSIS OF SQL-BASED REPORTING AND POWER BI DASHBOARDS AS APPROACHES TO PRESENTING THE RESULTS OF DATA ANALYSIS

Bobreshova Iryna
student, group AC-242
National University "Odesa Polytechnic"
Odesa, Ukraine
Supervisor:
Lebedieva Olena

Abstract. These theses compare SQL-based tabular reporting and Power BI dashboard visualization using an open-access relational dataset. An SQL query computes order count, total revenue, and average revenue per order for each product category. The same data is then visualized in Power BI under two metric choices. One category's average revenue per order, present in the table throughout, becomes perceptually immediate only once specifically charted, showing that tables and dashboards differ not in the data they hold, but in the effort needed to notice a pattern within it.

Keywords: SQL, Power BI, data visualization, business intelligence, dashboards, data analytics, Northwind database.

Introduction. Modern data analytics is not limited to obtaining correct figures – the speed and clarity with which results can be interpreted are equally important for their practical value. Cognitive research has long shown that diagrammatic representations of information can be processed and searched far more efficiently than sentential or tabular ones, because relevant information is grouped spatially rather than requiring sequential scanning [1]. In practice, two approaches dominate the presentation of analytical results: static, table-based SQL reports built directly on relational query output, and interactive Power BI dashboards, a business-analytics tool that turns raw data sources into visually immersive, interactive insights [2]. Despite their widespread parallel use, there is little systematic, empirical comparison of which contexts favor which approach. This constitutes the principal motivation for the present contribution.

Purpose and Objectives. The aim of the work is to compare SQL-based tabular reporting (queries executed in Structured Query Language, the standardized relational database language defined by ISO/IEC 9075 [3]) and Power BI dashboard visualization as approaches to presenting the results of data analysis, and to determine the conditions under which each approach provides greater analytical value. Specific objectives are:

1) to execute an SQL aggregation query against an open-access relational dataset and derive a comparative analytical metric;

2) to visualize the same result set in Power BI under two different metric choices and compare, what each reveals;

3) to derive practical criteria for choosing between SQL-based reporting and dashboard visualization in a given analytical context.

Materials and Methods. The comparison was conducted on the Northwind sample database [4], a widely used open-access relational dataset modeling the sales operations of a trading company (customers, orders, order details, products, categories and so on). An SQL query was executed against a local PostgreSQL instance, computing, for each product category, the number of orders, total revenue, and average revenue per order:

Listing 1 – SQL query aggregating revenue and order data by product category

```
WITH calc1 AS (
  SELECT c.category_name,
        COUNT(DISTINCT od.order_id) AS orders_count,
        ROUND(SUM(od.unit_price * od.quantity * (1 - od.discount))::numeric, 2) AS total_revenue
  FROM order_details od
  JOIN products p ON p.product_id = od.product_id
  JOIN categories c ON c.category_id = p.category_id
  GROUP BY c.category_name
)
SELECT category_name, orders_count, total_revenue,
      ROUND((total_revenue / orders_count), 2) AS average_revenue
FROM calc1
GROUP BY category_name, orders_count, total_revenue
ORDER BY total_revenue DESC;
```

The same result set was loaded into Power BI Desktop and rendered in two stages: first as total revenue per category, then as average revenue per order paired with order count. The two stages were evaluated against six criteria: time-to-insight, numeric precision, flexibility with a new metric, discoverability of patterns, audience fit, and maintenance effort.

Results and Discussion. The SQL query (Listing 1) returned the following aggregated output:

Table 1 – Revenue, order count, and average revenue per order, by category

	category_name	order_count	total_revenue	average_revenue
1	Beverages	354	267868.18	756.69
2	Dairy Products	303	234507.28	773.95
3	Confections	295	167357.23	567.31
4	Meat/Poultry	161	163022.36	1012.56
5	Seafood	291	131261.74	451.07
6	Condiments	193	106047.08	549.47
7	Produce	129	99984.58	775.07
8	Grains/Cereals	182	95744.59	526.07

A screenshot of the resulting table is also provided below:

	category_name character varying (15)	orders_count bigint	total_revenue numeric	average_revenue numeric
1	Beverages	354	267868.18	756.69
2	Dairy Products	303	234507.28	773.95
3	Confections	295	167357.23	567.31
4	Meat/Poultry	161	163022.36	1012.56
5	Seafood	291	131261.74	451.07
6	Condiments	193	106047.08	549.47
7	Produce	129	99984.58	775.07
8	Grains/Cereals	182	95744.59	526.07

Fig. 1. Resulting table (Table 1)

The corresponding Power BI visualization, built directly from the query output in Listing 1, is shown in Fig. 2:

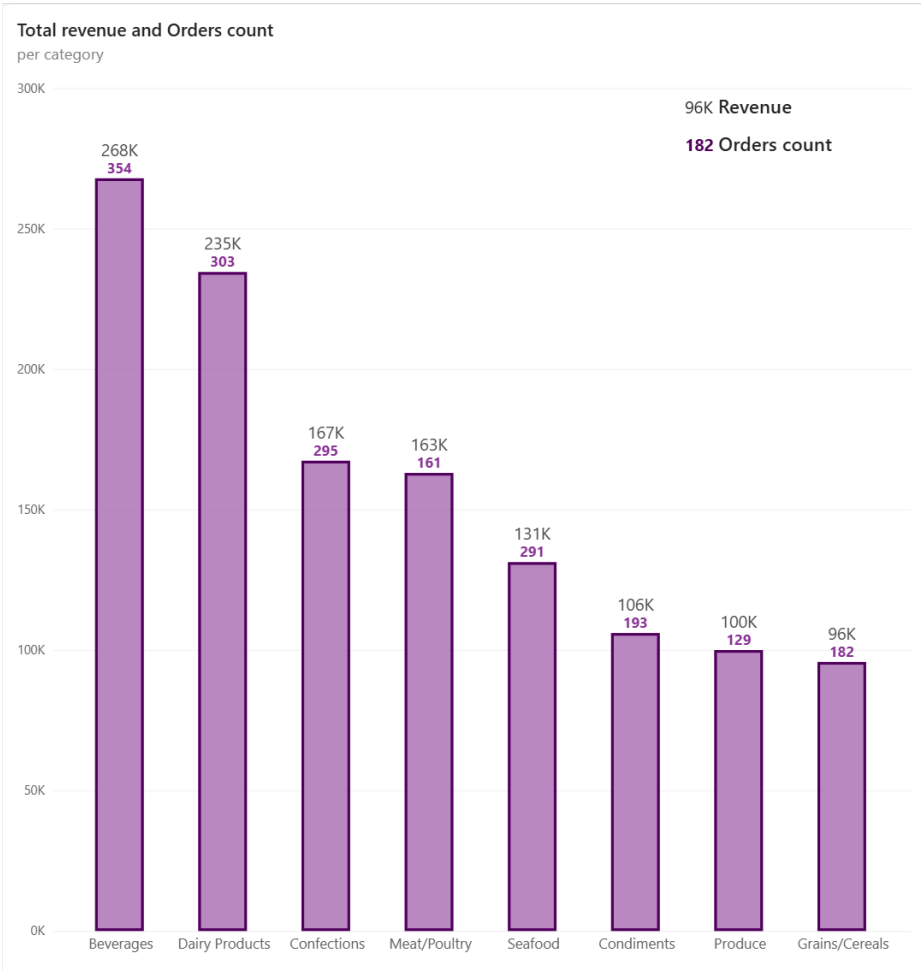

Fig. 2. Total revenue with order count per category (Power BI)

Fig. 2 (the first chart) ranks categories by total revenue and communicates the overall ordering at a glance: Beverages and Dairy Products lead, Grains/Cereals and Produce trail. In this view, Meat/Poultry appears unremarkable – fourth out of eight, with a comparatively modest 161 orders.

To test whether a different derived metric would reveal additional structure in the data, order count was paired with average revenue per order instead of total revenue, producing the visualization shown in Fig. 3 (the second chart):

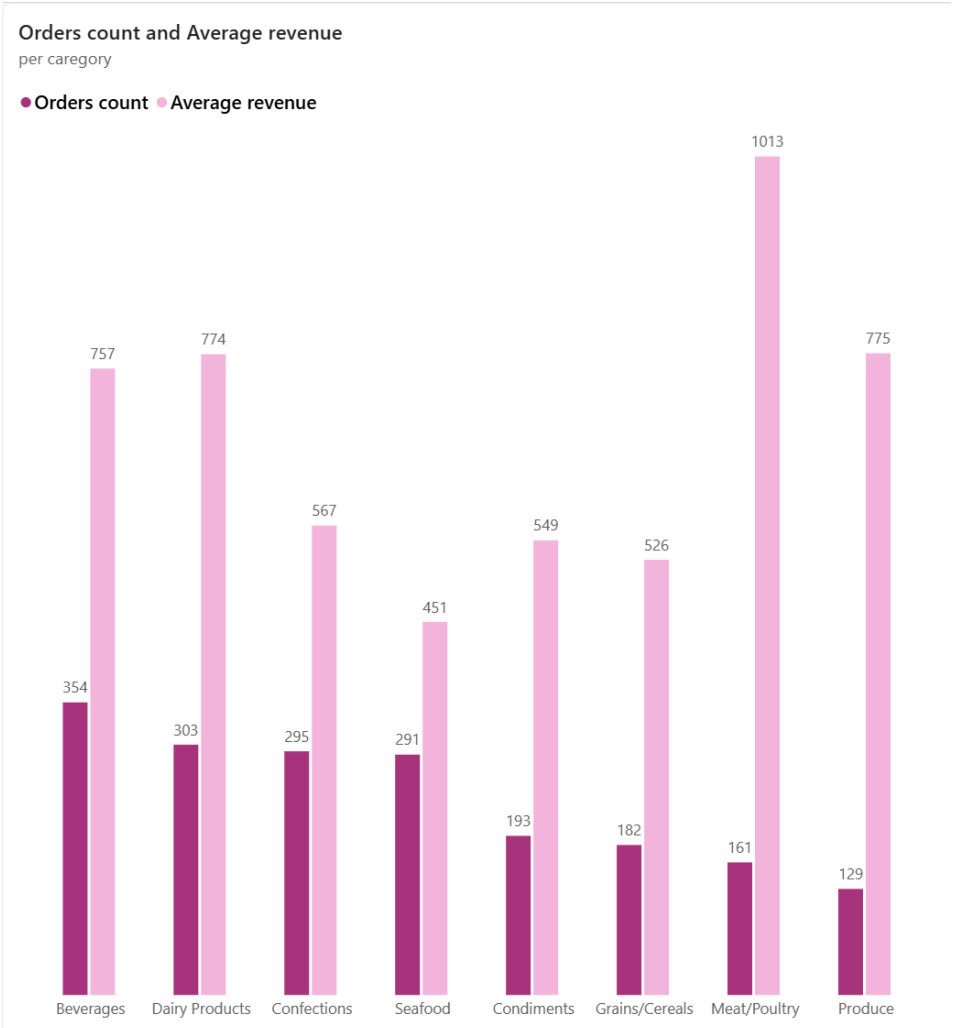

Fig. 3. Order count and average revenue per order, by category (Power BI)

The second chart (Fig. 3) replaces total revenue with average revenue per order, paired with the same order-count metric. Here the pattern reverses: Meat/Poultry, unremarkable in the first chart (Fig. 2), stands out sharply at $1,013 per order, nearly double every other category's $451–$775 range, despite still having one of the lowest order counts. This figure is present in Table 1 as well, but finding it there requires scanning eight rows, while the chart makes it perceptually immediate.

Building on the distinction observed between the first chart (Fig. 2) and the second chart (Picture 3), the two presentation approaches are summarized below against the evaluation criteria defined in the Materials and Methods section.

Table 2 – Comparison of SQL-based tabular reporting and Power BI dashboard visualization

Criterion	SQL-based reporting	Power BI dashboard
Time-to-insight	Requires reading and comparing individual rows, ranking is not immediately apparent	Ranking and outliers (e.g., Meat/Poultry in the second chart) are visible within seconds
Numeric precision	Exact values to two decimal places, suitable for verification	Values rounded for display (e.g., "268K"), exact figures require a tooltip/hover
Flexibility with a new metric	Requires rewriting and re-running the query	Requires only remapping an already-computed field, the chart updates instantly
Discoverability of patterns across metrics	All computed metrics are available together in one table (e.g., Table 1 includes average revenue alongside total revenue), so a pattern can be found by scanning – but this takes deliberate effort and prior suspicion of where to look	A pattern becomes immediately perceptible once the relevant metric is charted
Audience fit	Better suited to technical or audit-oriented review	Better suited to a broad, non-technical decision-making audience
Maintenance effort	Fast to produce for a one-off question, no design overhead	Higher upfront design effort, reusable for recurring reporting

Neither format is categorically superior: SQL reporting offers precision and flexibility at the cost of active scanning, while Power BI removes that cost but only for the specific metric charted.

Conclusions. SQL-based tables and Power BI charts do not differ in what data they contain but in how much effort is needed to notice a pattern within it: a table preserves every metric at the cost of active scanning, while a chart removes that cost – demonstrated by Meat/Poultry's average revenue, present in Table 1 throughout yet perceptually immediate only once charted in the second chart. The two approaches function best as complementary stages of one analytical process: SQL for deriving and verifying metrics, Power BI for making a chosen pattern legible.

References

1. Larkin, J. H., Simon, H. A. Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. Cognitive Science, 1987. Vol. 11(1), pp. 65–100. Available at: https://mechanism.ucsd.edu/bill/teaching/F12/cs200/Readings/larkin.whyadiagramissometimesworth.1987.pdf
2. Microsoft. What is Power BI? Microsoft Learn, 2024. Available at: https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview
3. ISO/IEC 9075 – Information technology – Database languages – SQL. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9075
4. Northwind sample database (PostgreSQL port). GitHub repository. Available at: https://github.com/pthom/northwind_psql

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ СЕМАНТИЧНОЇ ОЦІНКИ В МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ЗМІН ВЕБКОНТЕНТУ

Урлапова Дар'я
бакалавр
Іванов Юрій
канд. техн. наук, доцент
Кривогубченко Сергій
канд. техн. наук, доцент
Вінницький національний технічний університет, Україна

Окремим аспектом виявлення шкідливих змін вебконтенту є забезпечення інформаційної безпеки даних та протидія несанкціонованому втручанню в інформаційні процеси [1]. Застосування методів інтелектуального навчання для аналізу інформаційного середовища [2] та криптографічних підходів [3] до забезпечення захищеності інформації створює підґрунтя для комплексного аналізу та виявлення шкідливих змін вебконтенту. Водночас традиційні механізми контролю цілісності та захисту вебресурсів не завжди дають змогу визначити саме шкідливий характер внесених змін, що зумовлює необхідність аналізу безпосередньо змісту вебконтенту [1].

Зловмисники дедалі частіше отримують доступ не до сервера, а до облікового запису адміністратора або редактора сайту. Маючи легітимні права, вони змінюють уже опубліковані матеріали: підміняють текст новини, дописують рекламні посилання, вставляють фрагменти коду в старі записи. А засоби захисту, які перевіряють лише права доступу та журнали входів, такої дії не помічають, оскільки формально її виконав звичайний користувач. Тому втручання доводиться виявляти за самим текстом сторінки, і для цього будують моделі, навчені розрізняти звичайний і підмінений вміст [1].

Поширеним розв'язком даної задачі є моніторинг дефейсу: система періодично звіряє знімки сторінок з еталонними і повідомляє про розбіжності. За таким принципом працюють сервіс Site24x7 [4] та описана в академічній літературі система DefenX, яка додатково автоматично відміняє змінений контент [5]. Обидва рішення фіксують сам факт зміни, не відрізняючи легітимне оновлення від шкідливого втручання, та перевіряють сторінку вже після того, як вона стала доступною відвідувачам. Інший підхід — зведена бальна оцінка, як у механізмі Anomaly Scoring набору правил OWASP CRS, де кожне правило лише додає бали, а рішення ухвалюють за перевищенням порога [6]. Він діє на рівні запитів до сервера і зміст тексту не оцінює.

У запропонованій системі захисту вебконтенту перевірка виконується в момент дії користувача. Сайт передає системі подію, а саме створення або редагування публікації, надсилання повідомлення — разом із текстом до і після

зміни. Система оцінює подію за чотирма напрямами: наявність заборонених шаблонів, ознаки спаму та токсичності, цілісність контенту і, найважливіше, зміст тексту. Останній напрям зведено в окремий показник — семантичну оцінку, число від 0 до 1, яке показує, наскільки текст доречний: чи відповідає він тематиці сайту, чи не змінився його сенс порівняно з попередньою версією, і чи узгоджується повідомлення з перебігом розмови.

У кібербезпеці поширені зведені бали, складені з низки часткових оцінок: наприклад, за таким принципом побудовано систему оцінювання вразливостей CVSS [7]. Саме внутрішня будова такого показника і стала предметом аналізу. Ззовні семантична оцінка має вигляд одного числа, а всередині складається з вісьмох окремих оцінок, які за призначенням розпадаються на три групи (рис. 1).

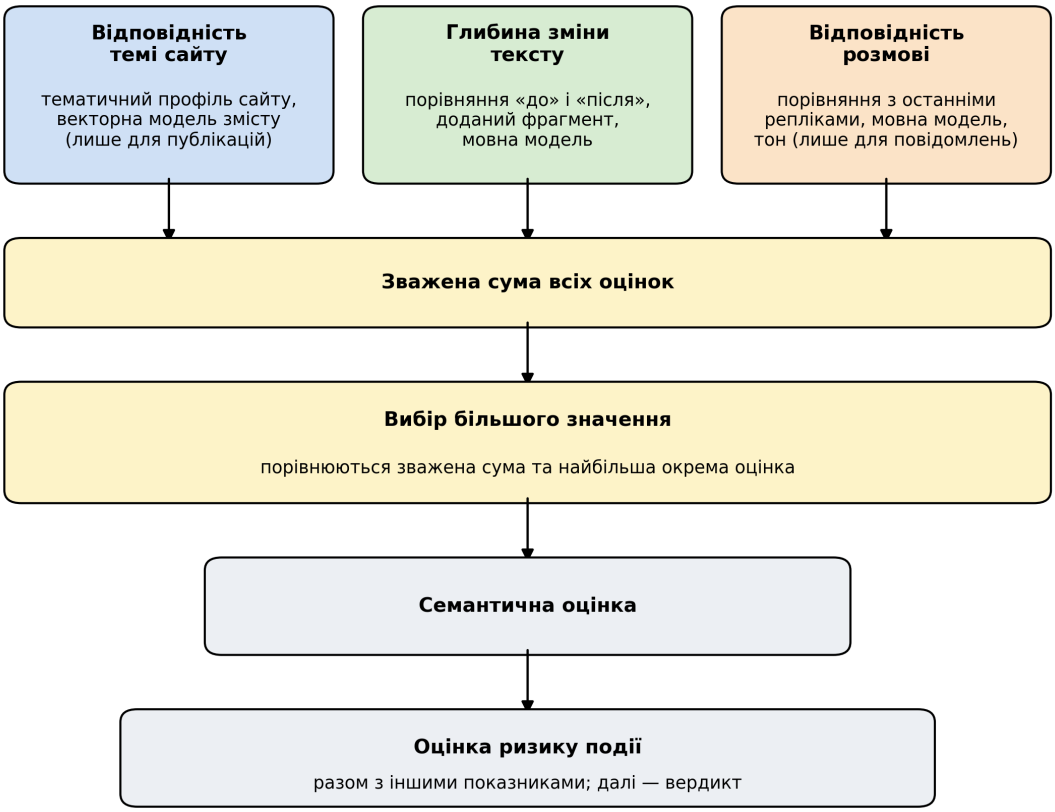

Рисунок 1 – Структура семантичної оцінки та її місце в ухваленні рішення

Система порівнює текст із тематичним профілем сайту, побудованим на довірених матеріалах, оцінює, наскільки сильно змінився текст і чи доречний дописаний фрагмент, а для повідомлень додатково перевіряє відповідність розмові та тон репліки. Ще дві оцінки дають моделі штучного інтелекту: багатомовна векторна модель зіставляє зміст тексту з тематикою сайту [8], а локальна мовна модель оцінює, наскільки змінився сенс.

Перша особливість виявляється на етапі, коли система зводить ці вісім оцінок в одну. Спочатку вона множить кожну оцінку на її ваговий коефіцієнт і додає результати — так утворюється перше значення. Окремо система визначає найбільшу серед восьми оцінок — це друге значення. На вихід програми

потрапляє більше з двох. Через такий порядок дій вагові коефіцієнти рідко визначають результат: якщо хоча б одна перевірка дала високу оцінку, саме вона й стає підсумковою, незалежно від того, яку вагу їй призначено. Ваги впливають лише тоді, коли декілька оцінок водночас помірно підвищені, а такий збіг трапляється нечасто.

Ситуацію ускладнює й те що для кожного типу події частина оцінок завжди дорівнює нулю: для публікації система не перевіряє відповідність розмові, а для щойно створеного допису їй немає з чим порівнювати текст. Тому заданий у системі набір ваг, розрахований одразу на всі випадки, у кожній конкретній події працює лише частково. Для зваженої згортки критеріїв прийнято, щоб сума ваг дорівнювала одиниці [9], а тут вона щоразу інша — залежно від того, яка саме подія надійшла.

Друга особливість стосується самої назви показника. Під нею поєднано три різні перевірки: чи текст про тему сайту, чи сильно він змінився, і чи доречна репліка в розмові. Для нової публікації працює переважно перша перевірка, для редагування — перші дві, для повідомлення — третя, яка доповнюється оцінкою тону. Тому однакове число для різних подій означає різні речі: для допису воно може казати «текст не про тему сайту», а для повідомлення — «репліка не підходить до розмови». В оцінку ризику це число входить із тією самою вагою, незалежно від того, з чого воно склалося.

Таким чином, даний показник усередині поєднує вісім різнорідних оцінок трьох різних призначень. Тому звідси два практичні кроки: налаштовувати ваги окремо для кожного типу події та розділити семантичну оцінку на три показники за переліченими перевірками. Тоді адміністратор бачитиме причину рішення, а не лише одне узагальнене число.

Список використаних джерел

1. Urlapova D.P., Ivanov Yu.Yu., Yukhimchuk M.S. Intelligent Analysis of User Behavior to Ensure Web Environments' Cybersecurity. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Emerging Theories and Practical Breakthroughs». Edinburgh, 2025. pp. 376–379.
2. Аналіз та експериментальне дослідження методу безмодельного навчання з підкріпленням / В.В. Півошенко, М.С. Кулик, Ю.Ю. Іванов, А.С. Васюра. Вісник Вінницького політехнічного інституту. №3. 2019. С. 40–49.
3. Kovtun V.V., Ivanov Yu.Yu. Crypto Coding System Based on the Turbo Codes with Secret Keys. ICT Express. South Korea: The Korean Institute of Communications and Information Sciences, 2024. Vol. 10. pp. 330–335.
4. Site24x7 (Zoho Corp.). Website Defacement Monitoring. URL: https://www.site24x7.com/monitor-webpage-defacement.html.
5. Jayan A., Jayakumar A., Sathar H.K., Koyan N. DefenX: Website Defacement Detection and Response System Using FastAPI. IRJMETS. 2025. Vol. 7, Issue 6. pp. 2912–2919. URL:

https://www.irjmets.com/upload_newfiles/irjmets70600136623/paper_file/irjmets70600136623.pdf.
6. OWASP Core Rule Set. Anomaly Scoring. CRS Documentation. URL: https://coreruleset.org/docs/2-how-crs-works/2-1-anomaly_scoring/.
7. FIRST. Common Vulnerability Scoring System version 4.0: Specification Document. URL: https://www.first.org/cvss/v4-0/specification-document.
8. Chen J., Xiao S., Zhang P. et al. M3-Embedding: Multi-Linguality, Multi-Functionality, Multi-Granularity Text Embeddings Through Self-Knowledge Distillation. Findings of ACL. 2024. pp. 2318–2335. URL: https://aclanthology.org/2024.findings-acl.137.pdf.
9. Williams A., Cai Y. Insights into Weighted Sum Sampling Approaches for Multi-Criteria Decision Making Problems. arXiv preprint arXiv:2410.03931. 2024. URL: https://arxiv.org/pdf/2410.03931.

INTELLIGENT ADAPTIVE CYBERSECURITY SYSTEMS FOR PROTECTING CLOUD IOT ECOSYSTEMS IN REAL TIME

Lashko Oleksandr
Cadet
Department of Cybercrime Counteraction
Kharkiv National University of Internal Affairs
Svitlychnyi Vitalii
PhD. in Technical Sciences, Associate Professor of the
Department of Cybercrime Counteraction,
Research Institute no. 4
Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine

With the development of the Internet of Things (IoT) and cloud technologies, the number of connected devices and the volume of data are significantly increasing, which creates new vulnerabilities in cybersecurity. Standardized approaches no longer provide adequate protection due to the complexity and dynamics of IoT ecosystems. This presents new challenges for the development of adaptive, intelligent protection systems capable of quickly responding to threats in real time.

The goal is to develop theoretical foundations and practical approaches for creating intelligent adaptive cybersecurity systems that can provide continuous protection, detection, and neutralization of threats in real time for complex and dynamic cloud IoT ecosystems.

Cloud IoT ecosystems represent complex multi-level systems that combine many devices with different hardware characteristics, software platforms, and network protocols. A key feature of such architectures is their distribution among end IoT devices, local gateways, and cloud platforms for data processing and storage. This

multidimensionality creates a unique landscape of vulnerabilities caused both by hardware features (low computing power, limited memory) and network interaction (vulnerability to eavesdropping, data interception, man-in-the-middle attacks) [1].

Studying these specifics includes analyzing data entry and exit points, studying communication models between devices and servers, as well as assessing the potential scenarios of attacks that can violate the integrity, availability, and confidentiality of data. Based on this analysis, the most critical network nodes where the likelihood of system compromise is highest can be identified, as well as classes of vulnerabilities that require priority attention when developing protection systems. Standard methods of information security in cybersecurity, such as static access policies, fixed authentication models, or classical intrusion detection systems, are not always effective in dynamic and large-scale IoT ecosystems. The main limitations of traditional approaches are their low adaptability — devices connect, disconnect, or move in the network, and load conditions change, requiring fast and flexible changes in security mechanisms [1–2].

In addition, many IoT devices have limited resources, which complicates the use of large-scale cryptographic protocols or intensive analytical computations. The lack of integrated approaches for automatic updating of security policies in response to new threats leads to delays in response and increased security risks. These limitations stimulate the development of new methods based on artificial intelligence and adaptive algorithms. Intelligent adaptive cybersecurity systems are complex platforms capable of self-learning based on analyzing a large volume of network data and detecting anomalies that may indicate attacks. The main principle of their construction is the combination of classical security methods with machine learning algorithms, deep data analysis, and behavioral analytics.

These systems operate on the principle of continuous monitoring of the network environment, collecting data about traffic, analyzing behavioral patterns of devices, and adapting to changes in the ecosystem structure. Adaptability consists in the system's ability to update threat detection models in real time, change response strategies, and self-learn, which provides enhanced protection against new unknown and complex attacks. For effective protection of cloud IoT environments, it is necessary to create a system architecture that integrates different security levels — from end devices and gateways to cloud servers. An important part of such architecture is rapid response mechanisms that allow promptly identifying a threat, localizing it, automatically launching neutralization methods (for example, isolating affected nodes or blocking traffic), while minimizing the impact on the ecosystem’s performance [3–4].

The implementation of such mechanisms is provided by complex rules for contextual threat assessment, automatic alert systems, and updating security policies in real time. This significantly reduces the likelihood of unauthorized access and other security risks caused by rapid changes in network parameters and behavioral patterns of devices [5].

The analysis of the research results allows formulating general conclusions about ensuring the security of modern digital infrastructures. The rapid growth in the number

of connected devices and data volumes in cloud IoT ecosystems creates new critical threats to which classical protection methods cannot respond in time. This is because traditional static security standards are ineffective due to the high complexity, heterogeneity, and dynamism of the modern Internet of Things environment. At the same time, the introduction of intelligent adaptive systems allows proactive monitoring, accurate anomaly detection, and automated response to cybersecurity incidents in real time. As a result, the further development of such systems is a key condition for ensuring the confidentiality, integrity, and availability of data in next-generation cloud infrastructure, which helps to neutralize new challenges and threats.

References

1. Roman, R., Lopez, J., & Mambo, M. (2018). Mobile edge computing, fog et al.: A survey and analysis of security threats and challenges. Future Generation Computer Systems, 78, 680-698. URL: https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.07.004
2. Sadeghi, A.-R., Wachsmann, C., & Waidner, M. (2019). Security and privacy challenges in industrial Internet of Things. Proceedings of the IEEE, 106(1), 268-278. URL: https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022
3. Bhatt, C., Rawat, D. B., & Raymond, D. R. (2020). Machine learning: A primer with applications to cyber security. Information Fusion, 54, 220-239. URL: https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2767007
4. Sharma, P., & Park, J. H. (2021). Edge computing-enabled adaptive security framework for Internet of Things. Journal of Network and Computer Applications, 188, 103114. URL: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103114
5. Alazab, M., Venkatesan, S., Khalil, I., Alazab, M., Abuhmed, T., & Choo, K.-K. R. (2022). Artificial intelligence-enabled cybersecurity technologies: Challenges and opportunities. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, 6(3), 412-431. URL: https://doi.org/10.1109/TETCI.2022.3152547

Section: International Relations

ЦИФРОВА ДИПЛОМАТІЯ ДЕРЖАВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ТРАНСФОРМАЦІЇ МІЖНАРОДНОГО ВПЛИВУ

Бабіна Валентина
здобувачка вищої освіти магістерського рівня
ОП С3 «Міжнародні відносини»
Кравченко Олена Валентинівна
наук. керівник д. істор. н., доцент, професор
Кафедра міжнародних відносин та і політичної філософії
ХНЕУ ім. С. Кузнеця, Україна

Цифровізація дипломатії змінила не стільки набір дипломатичних інструментів, скільки саме середовище, у якому держава намагається бути почутою. Ще не так давно міжнародна комунікація держави значною мірою проходила через дипломатичні представництва, офіційні заяви, міжнародні переговори та медіа. Сьогодні значна частина цієї взаємодії відбувається у цифровому просторі, причому без чіткої межі між офіційною дипломатичною комунікацією і публічним інформаційним середовищем. Міністерство закордонних справ, посольство або державний лідер можуть звернутися безпосередньо до іноземної аудиторії, а реакція на таке повідомлення з'являється практично одночасно з його поширенням. Ця зміна має принципове значення для розуміння міжнародного впливу. Цифрова дипломатія вже не є лише зручним способом донесення позиції держави. Вона створює умови, за яких сама комунікація стає частиною боротьби за увагу, довіру, інтерпретацію подій та міжнародне сприйняття держави. У цьому сенсі цифровізація не просто додає до дипломатичного арсеналу соціальні мережі, відеоплатформи чи месенджери. Вона змінює логіку взаємодії держави із зовнішнім світом. Саме тут проходить важлива межа між цифровою присутністю та міжнародним впливом. Держава може мати мільйони переглядів, велику кількість підписників і постійно перебувати в інформаційному полі, але це ще не означає, що її позиція справді впливає на міжнародні аудиторії. Видимість є лише першим рівнем. Після неї виникає питання уваги, далі – взаємодії, сприйняття, довіри і, зрештою, можливого впливу на ставлення або поведінку аудиторії. Тому кількість цифрових реакцій не можна механічно перетворювати на показник дипломатичної ефективності. Лайк не дорівнює підтримці, репост не завжди означає згоду, а велике охоплення саме по собі не свідчить про зміну ставлення до держави.

Цифрове середовище дозволяє побачити реакцію аудиторії значно швидше, ніж традиційні дипломатичні канали, але водночас змушує уважніше розрізняти сам факт комунікації та її політичний результат. Саме ця проблема дедалі

виразніше проявляється у сучасних дослідженнях цифрової дипломатії. Йдеться вже не про питання, чи повинні дипломати використовувати цифрові платформи. Це фактично стало нормою. Значно цікавішим є інше питання: що відбувається з дипломатією, коли цифрове середовище стає постійною частиною її функціонування? Перехід від цифрової адаптації до цифрового прийняття означає, що технології поступово перестають сприйматися як зовнішній додаток до дипломатичної діяльності. Вони вбудовуються в її щоденну практику, змінюють способи комунікації, взаємодії та представлення зовнішньополітичних позицій [2].

Ця трансформація добре помітна на прикладі України. В умовах повномасштабної війни дипломатична комунікація вийшла далеко за межі класичного міждержавного формату. Українська держава змушена одночасно звертатися до урядів, міжнародних організацій, журналістів, експертів, громадян іноземних держав та широкої глобальної аудиторії. Для кожної з цих груп необхідний дещо інший спосіб пояснення подій, аргументації та подачі інформації. Соціальна мережа, офіційний сайт міністерства, виступ посадовця, відеозвернення або повідомлення дипломатичного представництва можуть стосуватися тієї самої події, але виконувати різні комунікаційні функції. Дослідження українського досвіду цифрової дипломатії показують, що цифрові технології дедалі глибше інтегруються у зовнішньополітичну комунікацію держави. Йдеться не тільки про присутність українських дипломатичних установ у соціальних мережах, а про формування нової моделі комунікації, у якій швидкість, мультимедійність, інтерактивність і безпосередній контакт із аудиторією стають важливими характеристиками дипломатичної діяльності [4].

Особливо цікаво простежити, як у середовищі змінюється саме поняття міжнародного впливу. Традиційно дипломатичний вплив пов'язувався передусім із переговорами, домовленостями, політичними сигналами, економічними ресурсами, союзами або можливістю держави переконувати інших учасників міжнародної системи. Цифрове середовище не скасовує ці механізми. Воно додає до них ще один вимір — здатність формувати міжнародний дискурс. Держава отримує можливість не чекати, доки її позицію буде інтерпретовано іншими, а самостійно запропонувати власне пояснення події. Це особливо важливо під час криз, війни або гострого міжнародного протистояння, коли різні актори одночасно намагаються сформувати бажану для себе картину подій.

Цифрова дипломатія тому тісно пов'язана з формуванням зовнішньополітичних наративів. Наратив дозволяє державі не просто повідомити, що сталося, а запропонувати певний спосіб розуміння події. Саме через послідовність повідомлень, повторювані смислові акценти, візуальні образи та аргументацію формується уявлення про те, якою є держава, які цінності вона захищає, хто є її партнерами, у чому полягає загроза і чому міжнародна спільнота повинна звернути увагу на певну проблему.

Для цифрової дипломатії це особливо важливо через фрагментованість аудиторій. Те саме зовнішньополітичне повідомлення не обов'язково однаково

сприйматиметься молодою аудиторією в соціальній мережі, журналістами, дипломатами, експертним середовищем або громадянами держави-партнера. Цифрові платформи дають можливість адаптувати форму подачі, візуальний ряд, обсяг пояснення і навіть тональність повідомлення. Зміст зовнішньої політики залишається пов'язаним із державними інтересами, але спосіб його комунікації стає значно гнучкішим. У цьому проявляється одна з найважливіших особливостей сучасної цифрової дипломатії: комунікація стає адресною. Держава вже не просто говорить «для всіх». Вона може створювати різні комунікаційні продукти для різних аудиторій, відстежувати їхню реакцію і відповідно змінювати подальшу комунікаційну тактику.

Цифрова дипломатія потребує розуміння не лише дипломатії, а й логіки цифрових платформ. Дипломатична комунікація повинна враховувати швидкість інформаційних циклів, особливості алгоритмічного поширення контенту, поведінку користувачів та конкуренцію за увагу. У результаті дипломатичний працівник дедалі частіше працює не тільки з політичним змістом повідомлення, а й з його цифровою формою. Ця обставина особливо важлива для держав, які прагнуть використовувати цифрову дипломатію як інструмент «м'якої сили». Привабливість держави в цифровому середовищі формується не одним повідомленням. Вона виникає через сукупність комунікацій, образів, цінностей і досвіду взаємодії з аудиторією. Публічна дипломатія, міжнародний імідж та цифрові комунікації тому дедалі більше перетинаються. Проте цифрове середовище одночасно робить міжнародний імідж більш рухливим. Репутація держави, яка раніше формувалася роками, сьогодні може суттєво змінитися під впливом окремої події або інформаційної кампанії. Для дипломатії це означає необхідність постійної роботи з міжнародним сприйняттям, а не лише періодичних інформаційних кампаній.

В українських умовах ця особливість особливо очевидна. Війна зробила міжнародну комунікацію України постійним процесом. Необхідно не тільки привертати увагу до подій, а й утримувати її, пояснювати зміни на фронті та дипломатичні рішення, комунікувати потреби держави, реагувати на дезінформацію, підтримувати міжнародну солідарність. У такій ситуації цифрова дипломатія стає частиною ширшої системи зовнішньополітичних інструментів. Дослідження сучасних дипломатичних інструментів України показує, що їхня трансформація безпосередньо пов'язана з необхідністю забезпечення міжнародної підтримки та реалізації зовнішньополітичних пріоритетів держави. В умовах війни дипломатія працює одночасно на міждержавному, міжнародно-інституційному та суспільному рівнях. Цифрові канали дозволяють пов'язувати ці рівні між собою, створюючи постійний інформаційний зв'язок між українською державою та зовнішніми аудиторіями [3]. Саме тут стає помітною різниця між традиційною комунікацією позиції та формуванням міжнародного впливу. Повідомити партнерів про певну позицію – дипломатичне завдання. Створити умови, за яких ця позиція буде зрозумілою, прийнятною, підтриманою і згодом врахованою у міжнародній поведінці –значно складніше завдання. Цифрова

дипломатія не може гарантувати такий результат. Вона створює комунікаційний простір, у якому він може формуватися.

Виникає ще одна особливість цифрової дипломатії – зміна масштабу потенційної аудиторії. Дипломатичне повідомлення більше не обов'язково має адресата в однині. Воно може бути одночасно спрямоване на уряд, міжнародну організацію, журналістське середовище та громадян інших держав. Це збільшує можливості держави, але водночас підвищує ризик неправильного прочитання повідомлення. Те, що зрозуміло одному середовищу, може бути сприйнято зовсім інакше іншим. Тому сучасна цифрова дипломатія потребує балансу між універсальністю зовнішньополітичної позиції та адаптивністю її комунікації. Держава не може змінювати власні базові інтереси залежно від платформи, але може змінювати спосіб їх пояснення. Саме на цьому рівні відбувається значна частина сучасної дипломатичної роботи.

Ще одна важлива трансформація стосується ролі самого дипломата. Цифрове середовище стирає частину дистанції між дипломатом та аудиторією. Посол або представник державної установи може безпосередньо відповідати на запитання, пояснювати позицію, реагувати на події, брати участь у публічній дискусії. Особистий стиль комунікації при цьому стає частиною образу держави. Цифрова дипломатія персоніфікується, а дипломатична комунікація набуває рис постійного публічного діалогу.

Одночасно посилюється значення технологій штучного інтелекту, аналізу даних та автоматизованого опрацювання інформації. Вони можуть допомагати дипломатичним установам відстежувати інформаційні тенденції, аналізувати реакції аудиторій, виявляти тематичні зміни та оперативніше працювати з великими масивами цифрових даних. Але технологічні можливості не усувають потреби у політичному та професійному аналізі. Дані можуть показати, що відбулося з комунікацією, але не завжди пояснюють, чому аудиторія відреагувала саме так і чи матиме ця реакція довгостроковий зовнішньополітичний ефект.

Дослідницький інтерес до цифрової трансформації дипломатії сьогодні якраз і зміщується до таких питань. У центрі уваги опиняються не тільки соціальні мережі чи технологічні інновації, а зміна дипломатичних практик, комунікаційних стратегій, моделей взаємодії та способів формування міжнародних дискурсів [1]. У ширшій перспективі це означає, що міжнародний вплив держави стає більш залежним від її комунікаційної спроможності. Ресурс держави — це вже не тільки економічний потенціал, військова сила або дипломатична мережа. Значення набуває здатність пояснити власну позицію, бути зрозумілою для різних аудиторій, швидко реагувати на інформаційні виклики та підтримувати довіру у тривалому часовому проміжку. Саме тут цифрова дипломатія перетинається із ширшим процесом трансформації міжнародних відносин. Держави конкурують не лише за матеріальні ресурси, а й за увагу та легітимність власних інтерпретацій. У цифровому середовищі міжнародна комунікація стає частиною зовнішньополітичної конкуренції.

Водночас цифрова дипломатія не повинна розглядатися як універсальний засіб досягнення міжнародного впливу. Її можливості залежать від політичної послідовності держави, довіри до її інституцій, відповідності комунікації реальним діям, професійності дипломатичних структур та особливостей конкретної аудиторії. Якщо між заявленими цінностями і реальною політикою виникає значний розрив, цифрова комунікація не усуває його. Навпаки, цифрове середовище може зробити таку суперечність більш помітною. У цьому полягає одна з ключових особливостей сучасної дипломатії: цифрові технології посилюють як можливості держави, так і наслідки її комунікаційних помилок.

Відтак, цифровізація змінює міжнародний вплив не тому, що створює якийсь абсолютно новий ресурс сили. Її значення полягає в іншому: вона змінює спосіб конвертації дипломатичних ресурсів у комунікаційний ефект. Політична позиція, репутація, експертність, культурна привабливість, міжнародна підтримка — усе це отримує цифровий вимір. А ефективність такого ресурсу дедалі більше залежить від того, як саме він представлений, кому адресований і яку реакцію здатний викликати.

Цифрова дипломатія стала частиною структурної трансформації сучасної дипломатії. Її значення визначається не самим фактом використання цифрових платформ, а зміною середовища, у якому держава представляє себе, комунікує зовнішньополітичні позиції та взаємодіє з міжнародними аудиторіями. Цифрове середовище робить міжнародний вплив більш комунікаційним, динамічним та залежним від взаємодії з аудиторіями. При цьому цифрова видимість, охоплення, залучення, сприйняття та власне міжнародний вплив не є тотожними категоріями. Їх необхідно розглядати як різні рівні одного складного процесу.

Український досвід особливо виразно демонструє цю трансформацію. В умовах війни цифрові канали стали важливою частиною міжнародної комунікації держави, підтримання уваги до України та пояснення її зовнішньополітичних пріоритетів. Проте ефективність цифрової дипломатії визначається не кількістю повідомлень чи підписників, а здатністю інтегрувати цифрову комунікацію у ширшу дипломатичну стратегію.

Перспективним напрямом подальшого дослідження є розроблення критеріїв, які дозволять оцінювати не лише цифрову активність держав, а й потенціал перетворення цифрової комунікації на міжнародний вплив. Саме на цьому рівні цифрова дипломатія переходить від технологічного інструменту до повноцінного механізму сучасної зовнішньополітичної діяльності.

Список використаних джерел

1. Aggestam K., Duncombe C. Introduction: Advancing a New Research Agenda on Digital Disruption in Diplomacy. The Hague Journal of Diplomacy. 2024. Vol. 19, No. 1. P. 1–16. DOI: https://doi.org/10.1163/1871191X-BJA10180.
2. Bjola C., Manor I. The Rise of Hybrid Diplomacy: From Digital Adaptation to Digital Adoption. International Affairs. 2022. Vol. 98, No. 2. P. 471–491. DOI: https://doi.org/10.1093/ia/iiac005.

3. Банчук-Петросова О. В., Кравченко О. В., Жеребятнікова І. В. Дипломатичні інструменти України в умовах війни: міжнародна підтримка та зовнішньополітичні пріоритети. Міжнародні та політичні дослідження. 2026. № 41. DOI: https://doi.org/10.32782/2707-5206.2026.41.1.
4. Максимова І. В., Шелудякова Н. В., Вишневська К. Г., Кулішов В. В. Дослідження сучасної парадигми цифрової дипломатії в контексті зовнішньої політики та міжнародних відносин: кейс України. Економічний простір. 2024. № 191. С. 106–114. DOI: https://doi.org/10.32782/2224-6282/191-19 .
5. Мірошниченко Т., Федорова Г. Цифрова дипломатія як сучасний комунікаційний інструмент міжнародних відносин. Грані. 2021. Т. 24. № 12. С. 58–65.

Section: Jurisprudence

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.008.168-172

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗНИЖКИ НА ТОРГ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ АКТИВІВ

Сирота Олександр
завідувач відділу
Відділ товарознавчих та гемологічних досліджень
Миколаївський науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України, Україна

Анотація. У статті досліджено природу виникнення, економічний зміст та необхідність застосування знижки на торг в аналітичній та оціночній діяльності. Розглянуто причини розбіжностей між ціною пропозиції та ціною реальної угоди. Описано методику класифікації ринкових станів, яка поєднує якісні індикатори (попит, період експозиції) та кількісні параметри (коефіцієнти індексації). Особливу увагу приділено шкалі крокової деталізації дисконту, де обґрунтовано кожну одиницю відсотка знижки в діапазоні від 1% до 25%. Запропоновано методологічні підходи до інтеграції знижки у процеси фінансового аналізу та судової експертизи.

Ключові слова: знижка на торг, ринкова вартість, ціна пропозиції, ціна угоди, ліквідність, інформаційна асиметрія, коефіцієнт індексації, період експозиції, бально-вагова шкала.

Вступ. Сучасний етап розвитку ринкових відносин вимагає від економістів, оцінювачів та судових експертів високої точності при визначенні вартості різноманітних активів. Під час ринкового аналізу експерти найчастіше спираються на відкриті джерела інформації — оголошення на спеціалізованих інтернет-платформах чи у пресі [1; 2]. Проте зафіксована там ціна є лише первісною пропозицією продавця («ціною запиту»). Статистика свідчить, що реальні правочини укладаються за фінальною ціною угоди, яка майже завжди є нижчою. Різниця між ними регулюється комерційними переговорами і детермінується як знижка на торг. Ігнорування цього показника призводить до викривлення результатів аналізу та штучного завищення вартості активів. Тому обґрунтування практичних аспектів застосування знижки на торг та розробка чітких кон'юнктурних маркерів є актуальним завданням для експертної спільноти.

Теоретичний фундамент поведінки суб'єктів ринку в умовах невизначеності заклали Дж. Акерлоф (теорія інформаційної асиметрії) та Ш. Пратт (концепції оцінки ліквідності). У вітчизняній практиці методологічні підходи розроблялися

у працях О. Драпіковського та аналітичних матеріалах Українського товариства оцінювачів (УТО). Проте більшість існуючих публікацій або перевантажені складними математичними алгоритмами, або спираються на загальні припущення без чіткої інструментальної прив'язки до поточного стану ринку. Потребує висвітлення саме логічна та інструментальна сторона обґрунтування дисконту через індикатори індексації, періоди експозиції та покроковий розподіл відсотків.

Мета та задачі дослідження. Метою статті є комплексне економічне обґрунтування природи виникнення знижки на торг, виявлення чітких якісних та математичних маркерів ідентифікації станів ринку, а також розписування кожного відсотка дисконту від 1% до 25% для підвищення об'єктивності розрахунків ринкової вартості.

Для досягнення мети визначено такі задачі:

1. Дослідити економічну природу розбіжностей між цінами пропозиції та угоди.
2. Розробити методику критеріїв для розмежування станів ринку.
3. Обґрунтувати застосування ланцюгового коефіцієнта індексації як цифрового індикатора ринку.
4. Сформувати шкалу з обґрунтуванням кожного відсотка знижки від 1% до 25%.
5. Запропонувати прикладний алгоритм інтеграції знижки в оціночну та експертну практику.

Результати дослідження і їх обговорення. Знижка на торг — об'єктивна економічна категорія, підпорядкована законам попиту та пропозиції. На її формування впливають три базові чинники:

- Психологічний фактор та стратегія переговорів. Продавець свідомо закладає у початкову вартість фінансовий «запас на уступку». Це дозволяє йому безболісно йти на поступки, зберігаючи прийнятний дохід, а покупець отримує психологічне задоволення від комерційного компромісу, що прискорює угоду.

- Компенсація за фактор часу та ліквідність [3]. Процес експозиції об'єкта пов'язаний із витратами на маркетинг, обслуговування майна та втратою альтернативних вигід від «замороженого» капіталу. Надання знижки покупцеві з «живими» грошима економічно вигідніше, ніж тривале очікування повної стартової ціни.

- Інформаційна асиметрія. Жодне оголошення не відображає вичерпну картину стану об'єкта. Під час фізичного огляду чи аудиту покупець виявляє приховані дефекти або ризики. Знижка на торг у цьому разі виступає грошовою компенсацією за знайдені недоліки.

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ РИНКУ ТА РОЗПОДІЛ СТАВКИ ЗНИЖКИ

Щоб усунути суб'єктивізм, кожен стан ринку ідентифікується через три критерії: коефіцієнт попиту (співвідношення покупців і продавців), період експозиції (час продажу) та ланцюговий місячний коефіцієнт індексації (Kind.m) — відношення середньої ціни пропозиції поточного місяця до попереднього).

Вибір конкретної одиниці відсотка всередині ринкових коридорів здійснюється методом бально-вагових оцінок на основі терміновості продажу, технічного стану об'єкта та юридичної складності угоди. Економічний зміст кожного відсотка від 1% до 25% розподіляється за чотирма станами середовища:

1. Дефіцитний ринок («Ринок продавця») — Активна індексація вгору (Kind.m > 1.02).

Характеризується нестачею пропозиції. На одного продавця припадає 3–5 покупців, а терміновість продажу скорочується до 3–10 днів. Попит високий, тому потреба у дисконтах мінімальна:

- 1% — Абсолютно ліквідний об'єкт без дефектів, миттєвий розрахунок; знижка має символічний характер для округлення суми.

- 2% — Ринковий стандарт дефіцитного ринку; застосовується при виявленні дрібних естетичних або технічних недоліків.

- 3% — Максимальний торг; надається за умови закриття угоди «живими грошима» протягом 24 годин без залучення кредитів.

2. Стабільний (Рівноважний ринок) — Помірна індексація (1.00 ≤ Kind.m ≤ 1.01).

Попит і пропозиція перебувають у паритеті (1:1), ціни коливаються в межах інфляції (0–1% на місяць), а період продажу становить 2–4 місяці для житла та 5–8 місяців для комерційних об'єктів. Кожен відсоток відображає такі умови:

- 4% — Відмінний стан та популярна локація; продавець поступається мінімально, оскільки впевнений у ліквідності активу.

- 5% — Медіанне значення для здорової економіки; стандартна уступка при повній відповідності об'єкта ринковим умовам.

- 6% — Об'єкт потребує планового поточного ремонту або умови угоди передбачають невелику розстрочку (на 1–2 місяці).

- 7% — Верхня межа норми; застосовується при потребі прискорити угоду або за наявності невдалого планування об'єкта.

3. Надлишковий ринок («Ринок покупця») — Негативна індексація (Kind.m < 1.00).

Виникає під час макроекономічного спаду. На одного покупця припадає 5–10 пропозицій, ціни щомісяця сповзають донизу (Kind.m на рівні 0.98–0.99), а період продажу затягується до 6–12 місяців. Продавці жорстко конкурують за покупця:

- 8% — Мінімальний дисконт застосовується для найбільш затребуваних об'єктів, які навіть у кризу зберігають ліквідність.

- 9% – 10% — Стандартний крок зниження ціни продавцем для компенсації загальної стагнації ринкового середовища.

- 11% – 12% — Грошова компенсація покупцеві за суттєві технічні чи функціональні дефекти (зношені комунікації, старе обладнання).

- 13% – 14% — Глибокий дисконт через складні юридичні умови укладання угоди чи наявність дрібних судових/заставних обтяжень.

- 15% — Гранична межа комерційного торгу; поєднує низьку якість об'єкта та критичну потребу продавця у коштах.

4. Кризовий або Неліквідний ринок — Аномальна індексація або відсутність угод.

Екстремальний стан, за якого попит прямує до нуля, а номінальні ціни в інтернеті стають ілюзорними через відмову продавців фіксувати збитки. Кожен відсоток відображає ступінь фінансового тиску та глибину дисконту при переході до ліквідаційної вартості:

- 16% – 17% — Базовий рівень для об'єктів у розпал макрокризи, які проте мають високу автономну цінність (наприклад, земля в центрі).

- 18% – 19% — Специфічне комерційне майно з терміном очікування угоди понад рік; продавець уступає відсоток задля виходу в кеш.

- 20% — Психологічний рубіж; офіційний перехід до ліквідаційної вартості та згода продавця на втрати задля порятунку капіталу.

- 21% – 23% — Дисконт для застарілих майнових комплексів або часток у збитковому бізнесі; компенсація покупцеві за високі ризики.

- 24% – 25% — Умови вимушеного продажу в лічені дні під загрозою банкрутства. Показники вище 25% є ліквідаційним збитком.

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВРАХУВАННЯ ЗНИЖКИ

Практичний алгоритм впровадження комерційного дисконту складається з чотирьох послідовних кроків:

1. Ідентифікація джерела: Збір вихідних даних та фіксація їх статусу як «цін пропозиції».

2. Аналіз кон'юнктури: Розрахунок місячного коефіцієнта індексації та визначення поточного стану ринку.

3. Експертна оцінка: Вибір конкретної одиниці відсотка (від 1% до 25%) шляхом зважування технічних, юридичних та інших факторів об'єкта із обґрунтуванням).

4. Математична корекція: Зменшення ціни пропозиції на обраний відсоток для формування реалістичної бази розрахунку ринкової вартості.

Висновки. Знижка на торг є об'єктивним ринковим інструментом, що відображає комерційний компроміс між продавцем і покупцем в умовах інформаційної асиметрії та чинника ліквідності.

Пряме використання цін пропозиції без вирахування знижки на торг є методологічною помилкою, яка призводить до штучного завищення підсумкових показників вартості активів.

Найбільш точними індикаторами для диференціації ринку є інтегроване поєднання періоду продажу об'єктів, коефіцієнта попиту та ланцюгового коефіцієнта місячної індексації.

Впровадження бально-вагової шкали переводить аналіз у чітку цифрову площину, де кожен відсоток від 1% до 25% виступає еквівалентом конкретного ризику, дефекту чи чинника угоди.

Запропонований алгоритм дозволяє аргументовано застосовувати знижку на торг у практичній діяльності експертів без необхідності використання складного вищого математичного інструментарію.

Список використаних джерел

1. Аналітичний огляд ринку комерційної та житлової нерухомості. Консалтингова компанія «Проконсул». 2025. URL: proconsul.com.ua (дата звернення: 12.02.2026).
2. Пратт Ш. Оцінка бізнесу: знижки та премії / пер. з англ. Москва : Квинто-Консалтинг, 2005. 425 с.
3. Методичні рекомендації щодо визначення ліквідності та поправки на торг в оціночній практиці. Вісник Українського товариства оцінювачів. 2024. № 4 (72). С. 15–22.

ТРЕНАЖЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ВОДІЇВ: НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА БЕЗПЕКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Біша Ян
курсант
Вишневська Наталія
старший викладач
Кафедра інженерно-технічного забезпечення
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, Україна

Анотація. У статті проаналізовано нормативно-правове забезпечення застосування тренажерних технологій у системі професійної підготовки водіїв в Україні крізь призму адаптації державного управління цією сферою до умов воєнного стану. Виявлено дві групи протиріч: відсутність визначеного статусу тренажерної підготовки в обов'язковому обліку годин практичного водіння та відсутність єдиного технічного стандарту тренажерного обладнання. Обґрунтовано безпековий потенціал тренажерних технологій в умовах дефіциту пального, перебоїв в електропостачанні та пошкодження дорожньої інфраструктури. Сформульовано пропозиції щодо вдосконалення чинної нормативної бази.

Ключові слова: тренажерні технології, підготовка водіїв, нормативно-правове регулювання, воєнний стан, безпека дорожнього руху, адаптація державного управління.

Вступ. Система професійної підготовки водіїв традиційно спирається на поєднання теоретичного навчання та практичного водіння на майданчику і в умовах дорожнього руху. Воєнний стан суттєво ускладнив саме практичну складову: дефіцит пального, перебої в електропостачанні, повітряні тривоги та пошкодження дорожньої інфраструктури в прифронтових регіонах роблять традиційне практичне навчання менш доступним і більш ризикованим. У цих умовах тренажерні технології набувають значення елемента адаптації державного управління сферою підготовки водіїв до умов воєнного стану, проте чинне нормативно-правове забезпечення цієї сфери досі відображає довоєнні пріоритети регулювання.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є аналіз того, наскільки чинне нормативно-правове забезпечення тренажерних технологій відповідає завданню адаптації системи підготовки водіїв до умов воєнного стану, та оцінка безпекового потенціалу таких технологій. Завдання дослідження: охарактеризувати чинну нормативну базу підготовки водіїв; виявити протиріччя цієї бази щодо статусу й технічних вимог до тренажерного обладнання; розкрити безпековий потенціал тренажерних технологій в умовах воєнного стану; сформулювати пропозиції щодо вдосконалення регулювання.

Результати дослідження і їх обговорення. Чинна нормативна база підготовки водіїв ґрунтується на спільному наказі МОН, МВС, Мінінфраструктури та Мінсоцполітики України від 05.04.2016 № 255/369/132/344 [1], яким затверджено вимоги до закладів, що здійснюють підготовку водіїв. Цей наказ визначає обов'язковий перелік матеріально-технічного забезпечення закладу, однак не виокремлює тренажерне обладнання як самостійний елемент такого забезпечення і не встановлює технічних вимог до нього. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.04.2019 № 320 [2] спростила процедуру акредитації закладів і запровадила електронний журнал обліку занять, але так само оминула питання статусу тренажерної підготовки в цьому обліку, що засвідчує: державне управління цією сферою досі не переглянуло свій інструментарій відповідно до викликів воєнного часу.

Із цієї прогалини випливає перше протиріччя: тренажерна підготовка не має визначеного правового статусу відносно обов'язкових годин практичного водіння, які фіксуються електронним журналом лише щодо занять на транспортному засобі [2]. Заклад, який інвестує в тренажерне обладнання, не може зарахувати відповідні години в межах встановленої програми підготовки. Це знижує економічний стимул до впровадження тренажерних технологій саме тоді, коли дефіцит пального і небезпека повітряних тривог роблять традиційне практичне навчання особливо витратним і ризикованим, а орган державного управління, відповідальний за регулювання цієї сфери, залишає цей стимул поза увагою.

Друге протиріччя стосується відсутності єдиного технічного стандарту тренажерного обладнання: жоден з наявних на ринку пристроїв не підлягає обов'язковій сертифікації чи атестації як засіб підготовки водіїв [1]. Комісія з

акредитації закладів під час перевірки матеріально-технічної бази оцінює наявність транспортних засобів і майданчика, а питання якості тренажерного обладнання залишається поза межами формальної процедури державного контролю, що створює ризик закупівлі обладнання з низькою навчальною цінністю саме в період, коли ресурси закладів освіти обмежені воєнними умовами.

Безпековий потенціал тренажерних технологій водночас є значним. Тренажер дозволяє безпечно відпрацювати аварійні сценарії — різке гальмування, занос, керування в темряві без вуличного освітлення під час відключень електроенергії, — які на реальній дорозі становлять пряму загрозу життю курсанта. Для прифронтових областей, де частина доріг пошкоджена або замінована, тренажерна підготовка створює можливість відпрацювати базові навички керування без виїзду на об'єктивно небезпечну дорогу, а незалежність тренажера від наявності пального та світлового дня прямо відповідає логіці адаптації державного управління до ресурсних обмежень воєнного часу [4].

Висновки. Нормативно-правове забезпечення застосування тренажерних технологій у підготовці водіїв в Україні відстає від їх фактичного безпекового та ресурсного потенціалу: чинні акти не визначають статус тренажерної підготовки в обов'язковому обліку годин і не встановлюють технічних вимог до тренажерного обладнання. Усунення цієї прогалини потребує внесення змін до наказу № 255/369/132/344 [1] у частині визначення тренажерного обладнання як окремої категорії матеріально-технічного забезпечення, встановлення технічних вимог до такого обладнання та нормативного визначення частки годин практичної підготовки, яку допустимо заміщувати підтвердженими заняттями на тренажері, особливо на період дії воєнного стану [4].

Список використаних джерел

1. Про затвердження Вимог до закладів, що проводять підготовку, перепідготовку і підвищення кваліфікації водіїв транспортних засобів, і кваліфікаційних вимог до спеціалістів, які здійснюють таку підготовку : наказ МОН України, МВС України, Мінінфраструктури України, Мінсоцполітики України від 05.04.2016 № 255/369/132/344.
2. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінету Міністрів України від 03.04.2019 № 320.
3. Про затвердження Положення про порядок видачі посвідчень водія та допуску громадян до керування транспортними засобами : Постанова Кабінету Міністрів України від 08.05.1993 № 340. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/340-93-п#Text (дата звернення: 21.09.2026).
4. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text (дата звернення: 21.09.2026).

Section: Logistics and Transport

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ БУНКЕРУВАННЯ СУДЕН АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ПАЛИВАМИ

Мельник Олена Михайлівна
аспірант
Кафедра навігації та управління судном
Херсонська державна морська академія, Україна
https://orcid.org/0009-0001-5893-5955

Актуальність дослідження. Перехід морського транспорту на альтернативні види палива супроводжується зміною характеру небезпек, що виникають під час виконання бункерувальних операцій. Використання зрідженого природного газу, метанолу, водню та аміаку потребує врахування відмінностей їх фізико-хімічних властивостей, умов зберігання і передавання палива, а також можливих наслідків порушення герметичності технологічного обладнання. Унаслідок цього традиційні підходи до організації бункерування потребують адаптації до специфічних небезпечних сценаріїв, характерних для конкретного виду палива.

Особливістю процесу бункерування саме альтернативними паливами є те, що рівень ризику визначається не одним фактором, а поєднанням властивостей палива, технічного стану обладнання, параметрів технологічної операції, зовнішніх умов і дій персоналу. Виникнення відмови або відхилення на окремому етапі може спричинити розвиток взаємопов'язаних небезпечних подій, тому оцінювання ризику доцільно здійснювати не лише за окремими небезпеками, а з урахуванням можливих сценаріїв їх розвитку.

Для практичного використання результатів такого оцінювання необхідний послідовний зв'язок між ідентифікацією небезпеки, визначенням параметрів ризику та вибором відповідних заходів безпеки, що зумовлює необхідність формалізації процедури оцінювання, яка дозволяє структурувати вихідні дані, зіставляти різні сценарії бункерування та визначати необхідність застосування додаткових захисних заходів.

Метою роботи є формалізація процесу оцінювання ризику бункерування суден альтернативними паливами шляхом встановлення послідовного взаємозв'язку між ідентифікацією небезпек, формуванням аварійних сценаріїв, оцінюванням їх імовірності та наслідків і вибором заходів зниження ризику.

Виклад основного матеріалу. Бункерування суден альтернативними паливами доцільно розглядати як технологічний процес, рівень ризику якого формується внаслідок поєднання властивостей палива, конкретних умов виконання операції та можливих відхилень від установленого режиму. При цьому однаковий вид палива може характеризуватися різним рівнем ризику

залежно від типу судна, особливостей порту, застосованого обладнання та зовнішніх умов. Тому вихідні параметри операції повинні розглядатися спільно, а не як незалежні характеристики.

Основою оцінювання є встановлення зв'язку між початковими умовами бункерування та небезпечними сценаріями, які можуть виникнути під час виконання операції. Ідентифікація витоку, пожежі, вибуху, токсичного впливу та інших характерних небезпек сама по собі не визначає рівень ризику. Необхідним є формування відповідних аварійних сценаріїв із визначенням можливого розвитку події та характеру її наслідків.

Для забезпечення послідовності такого аналізу запропоновано формалізовану процедуру оцінювання ризику, яка охоплює етапи від визначення вихідних умов до оцінювання залишкового ризику після застосування захисних заходів. Структуру запропонованої процедури наведено на рис. 1.

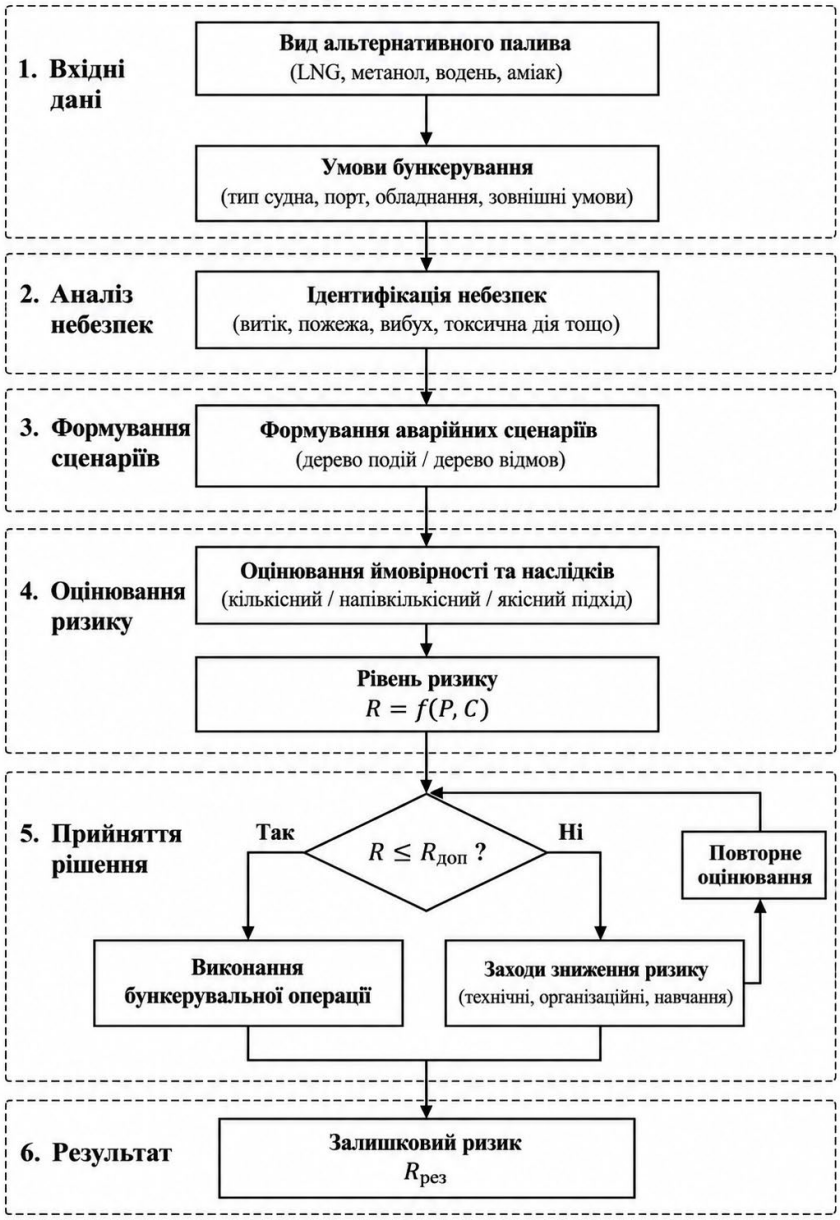

Рисунок 1 – Формалізована процедура оцінювання ризику бункерування суден альтернативними паливами

Як показано на рис. 1, процедура починається з визначення виду альтернативного палива та конкретних умов проведення бункерувальної операції. На їх основі здійснюється ідентифікація характерних небезпек і формуються відповідні аварійні сценарії. Така послідовність дозволяє пов'язати оцінювання ризику не лише з властивостями палива, а й з фактичними умовами його передавання та використання.

Для кожного сформованого сценарію визначаються імовірність його реалізації P та тяжкість можливих наслідків C. Рівень ризику в загальному вигляді може бути представлений функціональною залежністю R = f (P, C), де P – імовірність реалізації небезпечного сценарію; C – тяжкість його наслідків.

Отриманий рівень ризику порівнюється з установленим допустимим значенням $R_{доп}$. За умови $R \le R_{ДОП}$ операція може виконуватися за прийнятих умов. Якщо визначений рівень перевищує допустиму межу, передбачається застосування додаткових технічних, організаційних або інших заходів зниження ризику з подальшим повторним оцінюванням. Таким чином, вибір захисних заходів безпосередньо пов'язується з результатами оцінювання конкретного аварійного сценарію.

Завершальним результатом процедури є визначення залишкового ризику R_{res}, що характеризує рівень ризику після реалізації передбачених заходів. Наявність зворотного циклу повторного оцінювання дозволяє використовувати запропоновану процедуру не тільки для початкового аналізу безпеки бункерування, а й для обґрунтування достатності прийнятих заходів до початку виконання операції.

Висновки. У роботі запропоновано формалізовану процедуру оцінювання ризику бункерування суден альтернативними паливами, яка встановлює послідовний зв’язок між вихідними умовами операції, ідентифікацією небезпек, формуванням аварійних сценаріїв та визначенням рівня ризику.

Запропонований підхід передбачає оцінювання імовірності та наслідків небезпечних сценаріїв із подальшим порівнянням отриманого рівня ризику з допустимим значенням. У разі його перевищення передбачається вибір заходів зниження ризику та проведення повторного оцінювання.

Результатом застосування процедури є визначення залишкового ризику, що дозволяє оцінити достатність прийнятих заходів безпеки та обґрунтувати можливість виконання бункерувальної операції за заданих умов.

Список використаних джерел

1. Yang, M., Lam, J. S. L., & Lo, E. Y. M. (2026). A review of services management, application of alternative fuels and operational risk assessment for ship bunkering technology. Ocean Engineering, 345, 123617. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123617
2. Zhao, C., Yip, T. L., Wang, J., & Yang, D. (2026). Dynamic risk assessment for methanol ship-to-ship bunkering operations. Reliability Engineering & System Safety, 277, 113068. https://doi.org/10.1016/j.ress.2026.113068

3. Yeboah, M., Wijgerde, T., & Foekema, E. M. (2026). Ammonia as a fuel for ships: A review of hazards and environmental dynamics during bunkering and shipping. Journal of Hazardous Materials Advances, 22, 101099. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2026.101099
4. Piraino, F., Ustolin, F., Paltrinieri, N., & Fragiacomo, P. (2026). Modeling and performance analysis of liquid hydrogen bunkering infrastructures for truck-to-ship, port-to-ship and ship-to-ship applications. Journal of Energy Storage, 181, 124402. https://doi.org/10.1016/j.est.2026.124402
5. Türkoğlu, M. M., Cinar, F., & Akyuz, E. (2026). Data-driven prediction of oil spill risk in ship-to-ship bunkering by reinforcement learning and Bayesian belief networks. Marine Pollution Bulletin, 229, 119698. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.119698
6. He, P., Wu, L., Jin, J. G., Zhou, S., & Schulte, F. (2026). Distributionally robust optimization of sailing speed, bunkering, and fuel switching for dual-fuel liner services. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 184, 105528. https://doi.org/10.1016/j.trc.2026.105528

Section: Management, Public Administration and Administration

FORMATION OF AN ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM FOR INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

Ryshchenko Mykhailo
Graduate Student
Department of Entrepreneurship and Business Administration
Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Abstract. The thesis substantiates the need to form an organizational and economic mechanism for the integration of artificial intelligence technologies into the enterprise management system. The main prerequisites and directions for the use of artificial intelligence in management processes are defined, as well as a structural model of the corresponding mechanism that combines organizational, economic, technological and institutional components is proposed. The expediency of the transition from the fragmentary use of individual AI tools to the systematic integration of artificial intelligence technologies into the business processes of the enterprise is substantiated. The key conditions for the effectiveness of such integration are defined: coordination of technological solutions with the strategic goals of the enterprise, personnel training, data quality, information security and assessment of the economic effect.

Keywords: artificial intelligence, enterprise, management system, organizational and economic mechanism, digital transformation, management decisions, business processes.

Introduction

The digital transformation of enterprises is gradually moving from the stage of automation of individual operations to a change in approaches to the organization and implementation of managerial activities. One of the key technological factors of such changes is artificial intelligence (AI), the use of which creates new opportunities for information analysis, forecasting, management decision support, automation of routine operations and personalization of customer interaction.

The relevance of the integration of artificial intelligence is especially enhanced in conditions of high uncertainty, instability of the market environment and the need to increase the adaptability of enterprises. Under such conditions, competitiveness is determined not only by the availability of modern technologies, but also by the ability of the enterprise to organizationally and economically integrate them into the management system.

At the same time, the practice of using AI in enterprises is often fragmented. Individual employees or departments use generative AI services, forecasting or automation systems without a single corporate policy, defined performance criteria, and alignment with the business strategy. This creates a risk of obtaining a local technological effect without an appropriate systemic result.

In this regard, it is urgent to form an organizational and economic mechanism that will ensure not only the introduction of individual artificial intelligence technologies, but their systematic integration into the management and business processes of the enterprise.

Purpose and objectives of the study

The purpose of the study is to substantiate the organizational and economic foundations of the formation of a mechanism for integrating artificial intelligence technologies into the enterprise management system.

To achieve this goal, the following tasks have been defined: to clarify the role of artificial intelligence in the modern enterprise management system; to determine the main components of the organizational and economic mechanism of its integration; to substantiate the main directions of the use of AI in management processes; to determine the conditions for ensuring the effectiveness of such integration.

Results of the study and their discussion

It is advisable to consider artificial intelligence not only as a separate technological tool, but as an element of transformation of the enterprise management system. Its potential is manifested in the ability to process significant data arrays, identify patterns, form forecasts, generate information products and support managerial decision-making.

Managerial integration of AI can be carried out in several main areas:

– strategic management – analysis of market information, scenario forecasting, risk assessment and strategic planning support;

– operational management – optimization of business processes, demand forecasting, inventory management, resource planning;

– marketing and customer interaction – customer segmentation, analysis of consumer behavior, personalization of offers, automation of communications;

– personnel management – analysis of competencies, support for the selection and development of personnel, formation of individual educational trajectories;

– financial management – forecasting financial indicators, identifying anomalies, assessing risks and supporting budgeting;

– knowledge management – systematization of internal information, search for documents, formation of analytical materials and corporate knowledge bases.

However, the use of AI in certain functional areas does not by itself ensure systemic digital transformation. It is necessary to form a mechanism that combines technological capabilities with organizational and economic tools.

It is proposed to consider the organizational and economic mechanism of integration of artificial intelligence as a set of interrelated target, organizational, technological, economic, personnel and institutional components, the functioning of

which ensures the coordinated implementation of AI in accordance with the strategic goals of the enterprise.

The target component defines the expected results of AI integration: increasing productivity, reducing costs, accelerating decision-making, reducing management risks, improving the quality of customer service, and creating new competitive advantages.

The organizational component provides for the identification of responsible persons and departments, the distribution of powers, the formation of internal regulations for the use of AI, the integration of technologies into business processes, and the organization of control over results.

The technological component covers the choice of AI solutions, digital infrastructure, information systems and platforms necessary for the implementation of certain management tasks.

The economic component involves estimating the costs of implementing and operating AI solutions, determining the economic effect, analyzing the return on investment, and comparing alternative technological solutions.

The personnel component is related to the formation of digital and AI competencies of employees. Of particular importance is not only the training of specialists who work directly with AI, but also the formation of a general culture of responsible use of such technologies.

The institutional component must ensure compliance with information security, privacy, data protection, copyright and other regulatory requirements.

Thus, the general logic of the mechanism can be represented as a sequence:

strategic goals of the enterprise → identification of managerial problems → selection of AI solutions → organizational integration → the formation of competencies → economic evaluation → monitoring of results → adaptation of the mechanism.

An important feature of the proposed approach is its adaptability. The integration of artificial intelligence should not be considered as a one-time digitalization project. The technological environment, available AI tools, enterprise needs, and security requirements are constantly changing. Therefore, the mechanism should provide for regular evaluation of results and the possibility of adjusting technological and organizational decisions.

The economic effectiveness of AI integration can be evaluated by a system of indicators that characterize both the immediate financial effect and changes in management processes. Such indicators include a reduction in operating costs, saving working time, an increase in income, a reduction in the duration of management procedures, forecasting accuracy, reducing the number of errors, and the level of use of AI solutions by employees.

At the same time, it is important to take into account that the economic effect of AI does not always manifest itself directly in cost reduction. Some of the results may be related to improving the quality of management decisions, accelerating response to changes in the external environment, increasing customer value, and creating new business models.

A separate condition for effectiveness is the quality of data. AI solutions cannot ensure the proper quality of management results if incomplete, unstructured, or unreliable data are used. Therefore, the integration of artificial intelligence should be accompanied by the development of data management systems, the standardization of information flows, and the determination of responsibility for their quality.

It is equally important to preserve the role of a person in management. AI should be considered primarily as a tool to support management decisions, and not as a complete replacement for a manager. The final decision in critical areas should involve human control, especially when it can have significant financial, personnel, or reputational consequences.

Therefore, the organizational and economic mechanism of AI integration should provide a balance between technological capabilities, economic feasibility, organizational changes, and responsibility for the results of the use of technologies.

Conclusions

The integration of artificial intelligence technologies into the enterprise management system is a complex process that requires a combination of technological, organizational and economic solutions. The fragmented use of individual AI tools does not fully ensure the potential effect of digital transformation.

It is proposed to consider the organizational and economic mechanism of integration of artificial intelligence as an adaptive system of interrelated target, organizational, technological, economic, personnel and institutional components. Its functioning should be aimed at coordinating AI solutions with the strategic goals of the enterprise and ensuring a measurable economic and managerial effect.

A promising direction of further research is the development of a methodological approach to assessing the effectiveness of AI integration into the enterprise management system, taking into account economic, organizational, personnel and risk parameters.

References

1. OECD. (2024). OECD Employment Outlook 2024: The Net-Zero Transition and the Labour Market. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ac8b3538-en
2. OECD. (2024). Artificial intelligence and the labour market. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/topics/artificial-intelligence.html
3. European Commission. (2024). Artificial Intelligence Act. European Commission. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai
4. National Institute of Standards and Technology. (2023). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). U.S. Department of Commerce. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1
5. World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report 2025. World Economic Forum. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/
6. United Nations Conference on Trade and Development. (2025). Technology and Innovation Report 2025: Inclusive artificial intelligence for development. United Nations. https://unctad.org/publication/technology-and-innovation-report-2025

КРОСКУЛЬТУРНА АДАПТАЦІЯ ТОПМЕНЕДЖМЕНТУ МІЖНАРОДНИХ КОМПАНІЙ: ГЛОБАЛЬНІ ПРАКТИКИ ТА ЛОКАЛЬНИЙ КОНТЕКСТ УКРАЇНИ

Кандагура Катерина
канд. наук з державного управління, доцент
Мархай Яна
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Кафедра менеджменту
Державний торговельно-економічний університет, Україна

Інтернаціоналізація бізнесу, що передбачає розширення діяльності компаній за межі національних кордонів і посилення міжнародної співпраці, змінює характер роботи керівників, які дедалі частіше взаємодіють із представниками різних культур, ділових практик і суспільних груп. Особливого значення кроскультурна компетентність набуває під час криз, коли результативність управлінських рішень залежить не лише від оперативності, а й від розуміння соціальних норм і поведінкових очікувань працівників.

Теоретичним підґрунтям для осмислення цих змін є концепція глокалізації, запропонована R. Robertson (1995) для пояснення взаємозв'язку глобального та локального. Подальші дослідження розглядають глокалізацію як взаємодію цих двох рівнів, у межах якої організаційні підходи набувають різних форм залежно від конкретного середовища (G. S. Drori et al., 2014). У сфері лідерства це передбачає врахування особливостей національного контексту під час застосування корпоративних моделей, сформованих на міжнародному рівні.

Одним із аспектів глокалізації лідерства є вплив культурних чинників на сприйняття керівника членами команди. Зокрема, національність учасників може впливати на уявлення про лідерство та характер міжособистісної взаємодії. Дослідження G. Mohan et al. (2024) показало, що в мультинаціональних командах оцінювання лідера пов'язане не лише з його компетентністю, а й зі статусом, який учасники пов'язують із його національним походженням, та сприйняттям культурної схожості.

Культурні відмінності впливають і на щоденну комунікацію. За висновками M.-L. Weinzierl (2025), використання спільної корпоративної мови не усуває розбіжностей у способах передавання чи інтерпретації інформації. Відтак робота в міжнародних командах потребує гнучкості у виборі форм зворотного зв'язку, аргументації та обговорення робочих питань.

Важливим чинником ефективного лідерства в багатокультурному середовищі є здатність керівника працювати з культурними відмінностями. Одним із її проявів є культурний інтелект. W. H. A. Johnson et al. (2025), проаналізувавши 1592 глобальні віртуальні команди, встановили його зв'язок із рівнем конфліктності та результатами командної роботи. Водночас важливу роль

відіграє попередня міжнародна практика керівника. S. Davies et al. (2023), дослідивши 289 дочірніх компаній транснаціональних корпорацій у Південній Кореї, встановили, що керівники локальних підрозділів із досвідом роботи у штаб-квартирі активніше підтримували зв'язки з її представниками, що сприяло передачі знань між центральним офісом і місцевими підрозділами.

Отже, результативність роботи топменеджера в іншому культурному середовищі залежить від здатності враховувати культурні відмінності, вибудовувати комунікацію та застосовувати набутий досвід відповідно до конкретних умов діяльності. Вплив цих чинників можна простежити і в кадрових рішеннях міжнародних компаній, що працюють на українському ринку в умовах турбулентності.

Застосування такого підходу на практиці можна простежити у призначенні Лариси Бондарєвої головою правління Crédit Agricole Ukraine 4 вересня 2026 року. До цього посаду очолювали іноземні менеджери Crédit Agricole Group: у 2015-2020 роках керівником установи був Jean-Paul Piotrowski, після якого цю посаду обійняв Carlos de Cordoue (Crédit Agricole Bank, 2017, 2020). Piotrowski також очолював Французько-українську торгово-промислову палату, а de Cordoue до роботи в Україні керував Crédit Agricole Serbia.

На момент призначення Бондарєва мала майже 30 років роботи в банківському секторі, понад 25 із них – на керівних посадах. Її професійний шлях був пов'язаний як з українським ринком, так і з Crédit Agricole Group: у 2003 році вона приєдналася до групи через Credit Lyonnais Ukraine, згодом стала заступницею голови правління Crédit Agricole Ukraine, а у 2021 році перейшла до Raiffeisen Bank Ukraine. Її управлінську підготовку доповнили Executive MBA HEC Paris та міжнародні програми INSEAD, Harvard і IMD (Crédit Agricole Group, 2026). Наведений приклад свідчить про важливість поєднання знань українського банківського ринку з досвідом роботи в міжнародній фінансовій групі та навчанням за міжнародними програмами.

Інший приклад демонструє досвід DTEK Renewables. У 2020 році компанію очолив Māris Kuņickis (Маріс Куніцкіс) – латвійський управлінець із професійним досвідом у європейському енергетичному секторі. До переходу в DTEK він був членом правління та операційним директором Latvenergo, а з 2018 року працював в Україні: спочатку як директор з розвитку DTEK Grids, а згодом очолив DTEK Kyiv Grids. На чолі DTEK Renewables Куніцкіс наголошував на необхідності врахування глобальних тенденцій декарбонізації та цифровізації у розвитку української енергетики (DTEK, 2020).

Показовою є і зміна ролі Куніцкіса після початку повномасштабного вторгнення. 30 квітня 2022 року Олександра Селищева було призначено виконувачем обов'язків директора DTEK Renewables, тоді як Маріс продовжив співпрацю з компанією як консультант з іноземних проєктів відновлюваної енергетики (DTEK, 2022b). Цей випадок показує, що в кризових умовах структура управління може змінюватися відповідно до нових завдань компанії та особливостей політичної ситуації в країні.

Таким чином, проведене дослідження дозволяє стверджувати, що кроскультурна адаптація топменеджменту не має єдиної траєкторії: вона може передбачати як залучення локального фахівця до керівництва міжнародною компанією, так і адаптацію іноземного управлінця до українського середовища. В обох випадках важливими залишаються здатність працювати з культурними відмінностями, налагоджувати взаємодію з різними групами працівників та узгоджувати корпоративні практики з умовами конкретного ринку.

Список використаних джерел

1. Davies, S., Froese, F. J., Chng, D. H. M., & Portniagin, F. (2023). Improving subsidiary performance via inpatriate assignments: The role of host country national subsidiary CEOs' social ties and motivational cultural intelligence. Journal of World Business, 58(5), Article 101460.
https://doi.org/10.1016/j.jwb.2023.101460
2. Drori, G. S., Höllerer, M. A., & Walgenbach, P. (2014). Unpacking the glocalization of organization: From term, to theory, to analysis. European Journal of Cultural and Political Sociology, 1(1), 85–99.
https://doi.org/10.1080/23254823.2014.904205
3. Johnson, W. H. A., Dong, L., Li, M., & Taras, V. (2025). Transcending conflict in global virtual teams: Multi-level effects of cultural intelligence and perceptions of conflict on subjective and objective outcomes. Journal of International Management, 31(1), Article 101219.
https://doi.org/10.1016/j.intman.2024.101219
4. Mohan, G., Paunova, M., & Lee, Y.-T. (2024). From heterogeneity to inequality: The impact of nationality diversity on leadership in multinational teams. Journal of World Business, 59(3), Article 101535.
https://doi.org/10.1016/j.jwb.2024.101535
5. Robertson, R. (1995). Glocalization: Time-space and homogeneity-heterogeneity. In M. Featherstone, S. Lash, & R. Robertson (Eds.), Global modernities (pp. 25–44). SAGE Publications.
https://doi.org/10.4135/9781446250563.n2
6. Weinzierl, M.-L. (2025). Bridging the boundaries of corporate language competence in multinational teams. Business and Professional Communication Quarterly, 88(4), 684–726.
https://doi.org/10.1177/23294906231221135
7. Crédit Agricole Bank. (2017, December 26). Jean-Paul Piotrowski was appointed the president of the French-Ukrainian Chamber of Commerce and Industry.
https://credit-agricole.ua/en/o-banke/pres-centr/novini/zhan-pol-potrovski-priznachenij-prezidentom-franko-ukrayinsk-525
8. Crédit Agricole Bank. (2020, April). Carlos de Cordoue, Chairman of the Management Board of Credit Agricole Ukraine.
https://credit-agricole.ua/en/o-banke/dosye-biografiya/karlos-de-kordu

9. Crédit Agricole Group. (2026, September 4). Larysa Bondarieva has been appointed Chief Executive Officer of Crédit Agricole Ukraine. https://presse.credit-agricole.com/strongnominationbr-strongstronglarysa-bondarieva-est-nommee-directrice-generale-de-credit-agricole-ukrainestrong-493468/?lang=eng
10. DTEK. (2020, August 3). Māris Kuņickis appointed CEO of DTEK Renewables. https://renewables.dtek.com/en/media-center/press/mris-kuickis-appointed-ceo-of-dtek-renewables/
11. DTEK. (2022a, January 18). Development of renewable energy in Ukraine: Prospects and challenges. Interview with DTEK Renewables CEO Maris Kunickis. https://www.scm.com.ua/en/scm-in-press/rozvitok-vidnovlyuvanoji-energetiki-ukrajini-perspektivi-ta-vikliki-interv-yu-ceo-dtek-vde-marisa-kuniskisa
12. DTEK. (2022b, April 30). Oleksandr Selishchev has been appointed acting director of DTEK Renewables. https://renewables.dtek.com/en/media-center/press/vikonuyuchim-obovyazki-direktora-dtek-vde-priznacheno-oleksandra-selische/

FINANCIAL MECHANISMS FOR ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES

Rudachenko Olha
D.Sc. in Economics, Professor,
Head of the Department of Entrepreneurship and Business Administration
https://orcid.org/0000-0001-9597-574
Troian Vladyslava
Phd, senior lecturer of the Department of management and public administration,
https://orcid.org/0000-0002-2142-2873
Uhodnikova Olena
Ph.D. associate professor, Head of the Department of Finance, Accounting, and Business Security, https://orcid.org/0000-0003-2218-0041
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The sustainable development of territorial communities entails the coordinated achievement of economic, social, and environmental objectives while ensuring the financial capacity of local self-government. Accomplishing this task requires not only sufficient financial resources but also the establishment of effective mechanisms for their mobilisation, allocation, and utilisation. The quality of public services, the condition of infrastructure, support for entrepreneurship, the social protection of the population, and the capacity to implement local development projects depend on the soundness of a community's financial policy (Bisogno et al., 2024).

The financial mechanism for ensuring the sustainable development of a territorial community should be regarded as a set of principles, sources, methods, instruments, and organisational procedures through which financial resources are generated and utilised to achieve the community's strategic objectives. Its functioning should be based on the principles of financial autonomy, balance, targeted use of funds, transparency, accountability, effectiveness, and partnership-based cooperation.

Local budget funds constitute the foundation of financial support for the development of territorial communities. These funds are generated from tax and non-tax revenues, income from transactions involving municipal property, transfers, and other legally prescribed sources. Own-source revenues provide basic opportunities for financing current needs and implementing local programmes. At the same time, limited budgetary resources necessitate the prioritisation of expenditures and the identification of additional sources of funding.

The budgetary mechanism encompasses revenue and expenditure planning, programme-based budgeting, the allocation of resources among strategic priorities, and the monitoring of the effectiveness of their utilisation. Medium-term budget planning is an important instrument that makes it possible to align annual expenditures with the community development strategy. Its application enhances the predictability of financing and enables an assessment of the community's capacity to implement multi-year investment projects.

Intergovernmental transfers, particularly grants and subventions, play a significant role in financing local development. They are used to promote fiscal equalisation and implement programmes designated by the state. However, excessive dependence on transfers may reduce a community's financial autonomy. Therefore, a strategic priority for local self-government is to expand its own revenue base, improve asset management, and create favourable conditions for the development of entrepreneurial activity.

The taxation mechanism facilitates the mobilisation of own-source revenues and can simultaneously be used as an instrument for stimulating economic activity. Improving the administration of local taxes, updating information on taxable assets, reducing informal employment, and establishing effective cooperation with businesses contribute to an increase in budget revenues. At the same time, the community's tax policy should be predictable and should not impose an excessive burden on business entities.

Internal financing reserves can be generated through the effective management of municipal property, land resources, and municipally owned enterprises. This requires conducting asset inventories, assessing the efficiency of asset utilisation, improving lease arrangements, and ensuring transparency in managerial decision-making. Municipal assets should be regarded not merely as facilities requiring maintenance but also as resources capable of generating economic and social value.

The components of the financial mechanism for ensuring the sustainable development of territorial communities are summarised in Table 1.

Table 1- Key Mechanisms and Instruments for Financing the Sustainable Development of Territorial Communities

Financial mechanism	Main sources and instruments	Areas of application	Advantages
Budgetary	Own-source revenues; local taxes and fees; programme-based budgeting; development budget	Public services; social programmes; community improvement; operational and investment activities	Financial predictability; direct community control; ability to determine local priorities
Transfer-based	Grants; subventions; other transfers from the state and regional budgets	Education; healthcare; social protection; infrastructure projects	Ability to implement socially important initiatives when own-source funds are insufficient
Investment	Capital investments; private investors' funds; local borrowing; municipal guarantees	Infrastructure modernisation; energy efficiency; transport; development of municipally owned enterprises	Ability to implement large-scale and long-term projects
Grant-based	International technical assistance; grants from international funds and programmes; donor funding	Innovative, social, environmental, and recovery projects; digitalisation	Non-repayable funding; access to expert support; implementation of best practices
Credit-based	Bank loans; preferential lending programmes; loans from international financial institutions	Capital-intensive projects; equipment procurement; reconstruction and modernisation of facilities	Ability to rapidly mobilise a significant amount of resources
Partnership-based	Public-private partnerships; co-financing; intermunicipal cooperation	Joint infrastructure projects; housing and municipal services; energy; social infrastructure	Sharing of costs and risks; access to partners' expertise, technologies, and capital
Participatory	Participatory budgeting; community-based financing; charitable contributions; crowdfunding	Local projects; public spaces; social and cultural initiatives	Public engagement; increased trust; alignment of projects with residents' needs

Source: Compiled by the authors based on Bisogno et al. (2024), Jin et al. (2025), and Kościelniak et al. (2016).

The investment mechanism is aimed at attracting long-term resources for infrastructure modernisation, the development of municipally owned enterprises, improvements in energy efficiency, and the construction of new facilities. Its application requires a development strategy, a well-defined portfolio of investment projects, and properly prepared project documentation. Each project should include a justification of the identified need, a cost estimate, specified funding sources, an implementation timeline, and the expected economic, social, and environmental outcomes.

One of the key instruments for attracting private capital is public-private partnership. It involves long-term cooperation between local self-government bodies and private partners in the development, modernisation, or management of facilities of public significance. Its advantages include the possibility of combining the financial resources of the community and the business sector, drawing on private-sector management expertise, and sharing risks among the parties involved.

At the same time, the application of public-private partnership requires a clear definition of the subject matter of cooperation, the obligations of the parties, the sources of return on invested capital, and service quality indicators. The transfer of certain functions to a private partner should not result in the community losing control over strategically important assets or in reduced accessibility of services for the population. Therefore, such projects should undergo financial, legal, and socioeconomic assessment.

The grant-based mechanism enables communities to attract non-repayable resources from international programmes, funds, charitable organisations, and other donors. Grants may be used to implement innovative, social, environmental, digital, and infrastructure projects. Additional benefits of grant support include access to expert knowledge, partnership networks, and successful local development management practices.

The effectiveness of attracting grant funding depends on the community's institutional capacity. Essential prerequisites include qualified specialists, a system for monitoring grant calls, a portfolio of project ideas, and experience in preparing applications. The community must also be prepared to provide co-financing, achieve the established indicators, and ensure the continued maintenance of the facilities created after donor support has ended.

Credit financing may be appropriate for capital-intensive projects that generate long-term benefits and have predictable repayment sources. At the same time, any borrowing decision should be based on an assessment of the debt burden, the cost of credit, and the impact of repayments on future budgets. Using long-term loans to cover recurring operational expenditures is inadvisable because such expenditures do not create a financial basis for repaying the resources raised.

The development of intermunicipal cooperation is another important area. Pooling the financial, material, and human resources of several communities makes it possible to implement projects that would be too costly for an individual territory. Joint financing may be used to develop transport, social, and municipal infrastructure, organise shared services, and establish specialised institutions.

The participatory mechanism enables residents to take part in determining how a portion of budgetary resources should be allocated. Participatory budgeting increases the transparency of local financial policy and facilitates the implementation of projects that directly address the needs of the population. At the same time, its effectiveness depends on public awareness, transparent selection procedures, and proper oversight of the implementation of the selected initiatives.

Establishing a financial mechanism for sustainable development requires the diversification of funding sources and the combination of different instruments. Current services should primarily be financed from the community's predictable own-source revenues. Large-scale infrastructure projects may combine budgetary funds, grants, credit resources, and private investment. This approach makes it possible to distribute the financial burden, reduce dependence on a single funding source, and ensure the continuity of project implementation.

Monitoring the effectiveness of resource utilisation is an essential component of the financial mechanism. The assessment should consider not only the amount of funds disbursed but also the results achieved, including growth in local budget revenues, job creation, improved accessibility and quality of services, reduced operating costs, increased investment, and improvements in infrastructure. This makes it possible to determine the relationship between the resources used and the resulting public value (Sinervo, 2020).

Thus, financial mechanisms for ensuring the sustainable development of territorial communities encompass budgetary, taxation, transfer-based, investment, grant-based, credit-based, partnership-based, and participatory instruments. Their effectiveness is determined not only by the amount of funding available but also by the quality of strategic planning, the institutional capacity of local self-government, transparency in governance, and a focus on measurable results. Diversifying funding sources and combining financial instruments rationally create the necessary conditions for strengthening the financial capacity of communities and achieving their long-term sustainable development objectives.

References

1. Bisogno, M., Cuadrado-Ballesteros, B., Manes-Rossi, F., & Peña-Miguel, N. (2024). Financial sustainability and sustainable development in local governments: Empirical insights. Public Performance & Management Review, 47(3), 784–811. https://doi.org/10.1080/15309576.2024.2340116
2. Jin, H., Tsai, F.-S., & Martinez-Vazquez, J. (2025). Optimal expenditure decentralization for sustainable development: Evidence from a 52-country panel analysis. Financial Innovation, 11, Article 111. https://doi.org/10.1186/s40854-025-00780-1
3. Kościelniak, H., & Górka, A. (2016). Green Cities PPP as a method of financing sustainable urban development. Transportation Research Procedia, 16, 227–235. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.022
4. Sinervo, L.-M. (2020). Financial sustainability of local governments in the eyes of Finnish local politicians. Sustainability, 12(23), Article 10207. https://doi.org/10.3390/su122310207

ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА ЯК МЕХАНІЗМ ІНТЕГРАЦІЇ БАГАТОКУЛЬТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІДПРИЄМСТВА

Руда Л.П.
к.е.н., доцент
Кафедра фінансів та інноваційного менеджменту
Стрелецький В.Я.
аспірант
Факультет менеджменту та інформаційних технологій,
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. Досліджено роль організаційної культури у формуванні цілісного управлінського середовища підприємства в умовах культурного різноманіття. Обґрунтовано необхідність поєднання спільних організаційних норм і цінностей зі збереженням культурних особливостей учасників організації. Визначено основні складові організаційної культури, що забезпечують інтеграцію багатокультурного середовища та узгодженість управлінської взаємодії. Запропоновано розглядати організаційну культуру як інтеграційний механізм, здатний формувати спільне організаційне ядро без надмірної культурної уніфікації.

Ключові слова: організаційна культура, багатокультурне середовище, культурне різноманіття, організаційна інтеграція, спільні цінності, управлінська взаємодія, організаційна ідентичність.

Abstract. The role of organizational culture in the formation of an integrated managerial environment within an enterprise under conditions of cultural diversity has been studied. The need to combine shared organizational norms and values with the preservation of the cultural characteristics of organizational members has been substantiated. The main components of organizational culture that ensure the integration of a multicultural environment and coherence of managerial interaction have been identified. It is proposed to consider organizational culture as an integration mechanism capable of forming a shared organizational core without excessive cultural unification.

Keywords: organizational culture, multicultural environment, cultural diversity, organizational integration, shared values, managerial interaction, organizational identity.

Вступ

Розвиток міжнародної економічної діяльності, поширення глобальних ланцюгів створення вартості, трудова мобільність та міжнародне партнерство сприяють формуванню багатокультурного середовища сучасних підприємств. Культурне різноманіття проявляється не лише у складі персоналу, а й у взаємодії підприємства з іноземними партнерами, постачальниками, клієнтами та іншими

учасниками господарських відносин.

За таких умов перед системою управління постає необхідність забезпечення узгодженості дій представників різних культур, які можуть мати відмінні уявлення про професійні відносини, відповідальність, ієрархію, комунікацію та способи прийняття рішень.

Водночас повна стандартизація поведінки учасників організації може обмежувати переваги, пов'язані з культурним різноманіттям. Особливого значення у вирішенні цієї суперечності набуває організаційна культура. Вона формує систему спільних цінностей, норм і принципів взаємодії, які забезпечують узгодженість поведінки учасників організації незалежно від їхнього культурного походження.

При цьому ефективна організаційна культура багатокультурного підприємства не повинна передбачати усунення культурних відмінностей. Її завдання полягає у формуванні спільної основи взаємодії, в межах якої культурна різноманітність може зберігатися без порушення цілісності організації.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження організаційної культури як механізму інтеграції багатокультурного середовища підприємства та визначення її ролі у формуванні спільних принципів управлінської взаємодії.

Виклад основних результатів дослідження

Організаційна культура являє собою систему цінностей, норм, уявлень і моделей поведінки, які формуються в процесі функціонування організації та визначають характер взаємодії її учасників. Вона виконує не лише нормативну, але й інтеграційну функцію, оскільки створює спільні орієнтири для працівників та забезпечує передбачуваність організаційної поведінки. У багатокультурному середовищі інтеграційна функція організаційної культури набуває особливого значення. Представники різних культур можуть відрізнятися за ставленням до ієрархії, індивідуальної та колективної відповідальності, способів вирішення конфліктів, характеру професійної комунікації та допустимого рівня невизначеності. У результаті однакові організаційні ситуації можуть по-різному сприйматися та інтерпретуватися учасниками. За таких умов одним із завдань організаційної культури стає створення спільного простору правил та значень, зрозумілих для всіх учасників підприємства. Це дозволяє зменшити залежність управлінської взаємодії від неформальних культурно обумовлених припущень та сформувати більш передбачуване організаційне середовище.

Водночас інтеграцію багатокультурного середовища недоцільно ототожнювати з культурною уніфікацією. Намагання сформувати єдину модель поведінки шляхом витіснення культурних особливостей працівників може призводити до втрати частини переваг культурного різноманіття. Різні способи інтерпретації проблем, професійний досвід та культурно обумовлені підходи до взаємодії можуть виступати додатковим джерелом знань для організації.

Тому доцільним є формування такого типу організаційної культури, за якого забезпечується єдність у принципових питаннях діяльності підприємства при збереженні допустимої культурної варіативності поведінки його учасників.

У цьому контексті можна виділити спільне організаційне ядро, до якого належать стратегічні цілі підприємства, базові професійні цінності, принципи відповідальності, правила прийняття рішень, стандарти професійної взаємодії та критерії оцінювання результатів. Такі елементи мають бути зрозумілими та прийнятними для всіх учасників організації незалежно від їхньої культурної належності. Поряд із цим частина організаційної поведінки може залишатися культурно варіативною. До неї можуть належати особливості міжособистісної комунікації, способи формування професійних відносин, окремі форми командної взаємодії та інші поведінкові характеристики, які не суперечать стратегічним цілям і базовим нормам підприємства.

Таким чином, важливим завданням менеджменту є визначення меж між організаційно необхідною стандартизацією та допустимою культурною варіативністю. Надмірна стандартизація може обмежувати адаптивність організації та нівелювати позитивний потенціал культурного різноманіття. Натомість недостатня визначеність спільних норм здатна спричиняти неоднозначність у розподілі відповідальності, комунікаційні труднощі та різне трактування управлінських рішень.

Важливою складовою інтеграції є також формування спільної організаційної ідентичності. Належність до різних національних або культурних груп не виключає можливості одночасної ідентифікації працівника з підприємством, його цілями та професійними цінностями. За таких умов організаційна ідентичність може виступати об’єднувальним чинником, який не замінює культурну ідентичність працівників, а доповнює її.

Формування такої моделі організаційної культури потребує відповідних управлінських механізмів. До них належать чітке визначення базових цінностей підприємства, прозорі правила розподілу відповідальності, зрозумілі процедури прийняття рішень, доступні канали комунікації та механізми залучення представників різних культурних груп до організаційної взаємодії.

Важливу допоміжну роль у цьому процесі може відігравати розвиток CQ (культурного інтелекту) менеджерів, що характеризує їхню здатність розуміти культурно обумовлені відмінності та адаптувати власну поведінку під час міжкультурної взаємодії. Водночас культурний інтелект у цьому випадку доцільно розглядати не як кінцеву мету, а як один з інструментів, що сприяють формуванню та підтриманню інтегративної організаційної культури.

Відповідно, організаційна культура в багатокультурному середовищі виконує роль своєрідного механізму узгодження. Вона не усуває культурні відмінності, а встановлює спільні організаційні орієнтири, у межах яких ці відмінності можуть співіснувати та використовуватися без порушення узгодженості діяльності підприємства.

На основі зазначеного можна виділити три взаємопов’язані рівні інтеграції багатокультурного середовища. Перший передбачає формування ціннісної основи, що визначає спільне розуміння цілей, професійних принципів і пріоритетів підприємства. Другий охоплює нормативно-організаційний рівень,

на якому спільні цінності реалізуються через правила взаємодії, розподіл відповідальності та процедури прийняття рішень. Третій становить поведінковий рівень, у межах якого допускаються різні культурно обумовлені способи професійної поведінки за умови їх відповідності спільним організаційним принципам.

Такий підхід дозволяє розглядати інтеграцію не як процес приведення культурно різноманітних учасників до єдиної моделі поведінки, а як формування спільної організаційної основи, достатньої для їх ефективної взаємодії. У результаті організаційна культура може забезпечувати баланс між цілісністю підприємства та збереженням культурного різноманіття.

Для українських підприємств зазначене питання набуває особливої актуальності в умовах розширення міжнародного співробітництва, інтеграції до європейського економічного простору та поглиблення участі у міжнародних ланцюгах створення вартості. Формування організаційної культури, здатної інтегрувати різні культурні підходи, може сприяти підвищенню якості міжнародної взаємодії та адаптивності системи управління підприємством.

Висновки

Таким чином, організаційна культура є важливим механізмом інтеграції багатокультурного середовища підприємства. Її роль полягає у створенні спільної системи цінностей, норм і принципів, яка забезпечує узгодженість діяльності представників різних культур без необхідності усунення їхніх культурних особливостей.

Запропоновано розмежовувати спільне організаційне ядро та культурно варіативні елементи поведінки. До спільного ядра доцільно відносити стратегічні цілі, базові професійні цінності, принципи відповідальності, правила прийняття рішень та стандарти професійної взаємодії. Культурно варіативні моделі поведінки можуть зберігатися за умови, що вони не суперечать зазначеним принципам та не перешкоджають досягненню цілей підприємства.

Інтеграцію багатокультурного середовища запропоновано розглядати на ціннісному, нормативно-організаційному та поведінковому рівнях. Такий підхід дозволяє поєднати необхідність формування цілісної організаційної культури зі збереженням позитивного потенціалу культурного різноманіття.

Отже, ефективна організаційна культура багатокультурного підприємства має бути спрямована не на культурну уніфікацію, а на формування спільної організаційної основи, що забезпечує взаєморозуміння, передбачуваність управлінської взаємодії та узгодженість дій учасників організації. Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення інструментів оцінювання рівня інтегрованості багатокультурного середовища та його впливу на ефективність реалізації стратегії підприємства.

Список використаних джерел

1. Schein, E. H., & Schein, P. A. (2017). Organizational Culture and Leadership (5th ed.). Hoboken: Wiley.

2. Hofstede, G., Hofstede, G. J., & Minkov, M. (2010). Cultures and Organizations: Software of the Mind (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
3. Cox, T. H. (1993). Cultural Diversity in Organizations: Theory, Research and Practice. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers.
4. Ely, R. J., & Thomas, D. A. (2001). Cultural Diversity at Work: The Effects of Diversity Perspectives on Work Group Processes and Outcomes. Administrative Science Quarterly, 46(2), 229–273.
5. Ang, S., & Van Dyne, L. (2008). Handbook of Cultural Intelligence: Theory, Measurement, and Applications. New York: Routledge.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.009.195-197

SELECTING A PROJECT MANAGEMENT APPROACH FOR SMALL ENTERPRISES: AGILE AND WATERFALL EFFECTIVENESS CRITERIA

Dubrova Daria
student, group VM-241
Supervisor:
Lebedieva Olena
Senior Lecturer
Foreign Languages Department
National University “Odesa Polytechnic”
Odesa, Ukraine

Abstract. Methodology choice is a decisive factor in the operational efficiency of small enterprises, which have limited room to absorb the cost of a poor fit. This study compares Agile and Waterfall project management on the basis of secondary empirical data and academic literature (2013–2025). Reported success/failure rates are analyzed alongside a criteria-based comparison covering cost predictability, flexibility, documentation, and risk management. Agile shows higher aggregate success rates overall, but the gap narrows sharply at the small-project scale typical of small enterprises, and Waterfall retains advantages where requirements are stable and compliance is required. Methodology selection should therefore be criteria-driven rather than trend-driven.

Keywords: project management, Agile, Waterfall, small enterprise, project success, methodology selection.

Introduction. Agile methodologies have displaced Waterfall as the dominant paradigm in software development, largely because traditional methods are seen as unable to accommodate rapid market change [1]. Yet adoption research also reports barriers specific to small organizations – one study identified insufficient management

involvement as a key limitation to Agile adoption in SMEs (Small and Medium(-sized) Enterprises) [2]. This creates a practical need to compare the two approaches against small-enterprise conditions specifically, rather than assuming large-scale IT findings transfer directly.

Purpose and Objectives. Purpose: to determine the comparative effectiveness of Agile and Waterfall for small enterprises and identify when each is preferable.

Objectives: (compare documented success/failure rates, build a criteria-based comparison relevant to small-enterprise constraints, identify conditions favoring each approach, formulate selection recommendations.

Materials and Methods. The study analyzes secondary data from industry surveys (the Standish Group CHAOS Report [3] and Ambysoft Project Success Rates Survey [5]) together with peer-reviewed sources published 2013-2025. Comparison criteria (cost predictability, flexibility, documentation, stakeholder involvement, risk management, team-size fit) were selected for their recurrence across sources and relevance to small enterprises.

Results and Discussion. The 2015 Standish CHAOS Report (10,000+ projects, 2011-2015) found Agile outperforming Waterfall at every project size, with the gap widest for large projects and narrowest for small ones [3] (Table 1).

Table 1 – Project resolution by method and size, 2011-2015

Project size	Method	Successful, %	Challenged, %	Failed, %
All sizes	Agile	39	52	9
All sizes	Waterfall	11	60	29
Small	Agile	58	38	4
Small	Waterfall	44	45	11

Source: Standish Group CHAOS data [3]

Standish itself concludes that project size, more than methodology, drives outcomes [4]. Independent surveys support the same direction at varying magnitudes: Ambysoft found 64% vs. 49% success, PwC (PricewaterhouseCoopers (the consulting/auditing firm that ran the 2017 study cited)) found Agile 28% more successful [5], and a 2025 systematic review reported roughly 40% success rate and 10% failure rate for Agile against 15% success and 30% failure for Waterfall, with Waterfall still effective under static requirements and strict documentation demands [6].

For small enterprises specifically, evidence is more mixed. Agile's continuous stakeholder involvement helps firms handle volatile customer expectations and improves delivery speed, teamwork, and client satisfaction [1, 7], but non-IT small organizations face real adoption barriers, chiefly weak management involvement and limited cross-functional capacity [2, 8]. Waterfall, conversely, is indicated specifically for fixed, well-documented requirements and regulated, sequential-production contexts such as construction and manufacturing [9]. To translate these quantitative findings into a practical decision tool, Table 2 summarizes Agile and Waterfall across the criteria most relevant to small-enterprise conditions – cost predictability, flexibility, documentation, and regulatory fit among them.

Table 2 – Criteria-based comparison for small-enterprise conditions

Criterion	Agile	Waterfall
Cost predictability	Lower upfront; tracked per iteration	High upfront predictability
Flexibility to change	High	Low — costly once started
Documentation load	Minimal	Extensive, formal
Stakeholder involvement	Continuous	Concentrated at planning/delivery
Regulatory/compliance fit	Weaker	Stronger
Team requirement	Small, cross-functional	Hierarchical teams workable

Overall, Agile's advantage is largely a software-industry effect. For modest-scope, short-duration small-enterprise projects, the outcome gap shrinks and project nature, not methodology popularity, should drive the choice.

Conclusions. Agile achieves higher aggregate success rates than Waterfall, but this advantage is smallest precisely at the project scale typical of small enterprises. Waterfall remains preferable where requirements are stable and documentation or compliance is mandatory. Agile is preferable where requirements evolve and continuous stakeholder engagement is feasible. Methodology selection for small enterprises should be based on explicit assessment of requirement stability and organizational capacity, not on general industry trends. A hybrid model combining Waterfall-style planning with Agile-style execution is indicated by several reviewed sources as a direction for further testing.

References

1. Ciric Lalic, D. et al. (2022), as cited in: Agile Approaches in Small Business Project Management: A Literature Review. ResearchSquare. https://www.researchsquare.com/article/rs-6959719
2. Challenges of Agile Project Management in SMEs in the Indian Market. Springer Proceedings (2024). https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-47055-4_25
3. Hastie, S. (2015), as reported in: Project Success in Agile Development Projects. https://arxiv.org/pdf/1711.06851
4. Morris, D. J. (2015). Waterfall projects are more successful than agile projects? https://davidjcmorris.com/?p=1298
5. Ambysoft 2013 Project Success Rates Survey; PwC (2017), as reported in: Agile vs Waterfall: Which Method Is More Successful? Clearcode. https://clearcode.cc
6. Nwekori, F. E. (2025). Comparative Analysis of Agile and Traditional Software Development Methodologies. DRJ Engineering and IT. https://www.ajol.info/index.php/drjeit/article/view/326797
7. Theseus.fi (2024). How Agile methodology enhances project efficiency in SMEs. https://www.theseus.fi/handle/10024/887742
8. Challenges of Applying Agile Processes in Small Non-IT Organizations. EkonBiz. https://www.ekonbiz.ues.rs.ba/ojs/article/view/412.html
9. Introduction to Waterfall Project Management: When to Use It. Monday.com Blog. https://monday.com/blog/project-management/introduction-waterfall-project-management

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.010.198-201

ASSESSMENT CENTER В АРХІТЕКТУРІ УПРАВЛІННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЯМИ ПЕРСОНАЛУ: ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД

Грідін Олександр
к.е.н., доцент
Кафедра менеджменту, бізнесу і адміністрування
Державний біотехнологічний університет, Україна

У турбулентному високотехнологічному світі сучасні організації дедалі частіше орієнтуються на компетентнісний підхід в управлінні персоналом, що дозволяє їм оцінювати працівників не лише за результатами безпосередньої діяльності, а й за рівнем їх професійних, управлінських та поведінкових компетентностей, забезпечуючи, внаслідок цього, більш об'єктивну діагностику існуючого кадрового потенціалу, а також визначення його найбільш перспективних напрямів розвитку та досягнення відповідності стратегічним цілям функціонування.

При цьому, комплексною, багаторівневою та однією з найнадійніших технологій оцінювання професійних, управлінських і поведінкових компетентностей працівників та кандидатів на заміщення вакансій є саме методика Assessment Center (центр оцінювання персоналу), що ґрунтується на системному моделюванні реальних або наближених до фактичних умов професійної діяльності з метою отримання валідної, надійної та прогностично значущої інформації.

У науковому розумінні Assessment Center являє собою інтегровану процедуру, яка поєднує стандартизовані інструменти оцінювання (ділові ігри, кейс-завдання, індивідуальні та групові вправи, інтерв'ю за компетенціями, психометричне тестування тощо) із експертним спостереженням підготовлених асесорів. Оцінювання здійснюється за заздалегідь визначеними компетентнісними моделями, що відображають ключові вимоги до посад та стратегічні цілі організації [1].

Базовою характеристикою даного підходу є його поведінкова орієнтація, тобто у даному випадку фіксуються не декларативні знання чи суб'єктивні судження, а конкретні прояви поведінки учасників у змодельованих ситуаціях, що забезпечує високий рівень об'єктивності оцінювання, мінімізує вплив упередженості, дозволяючи здійснювати багатовимірний аналіз потенціалу особистості [3].

Assessment Center виконує не лише діагностичну, але й прогностичну функцію, оскільки результати оцінювання дозволяють передбачити майбутню результативність працівника, його здатність до професійного розвитку, адаптації

та прийняття управлінських рішень в умовах стратегічної невизначеності. У нинішніх реаліях цифровізації бізнес-середовища дана технологія дедалі частіше інтегрується з цифровими платформами, онлайн-симуляціями та аналітичними інструментами обробки даних, що підвищує її масштабованість і точність [2; 5].

Таким чином, Assessment Center необхідно розглядати як стратегічний інструмент управління людськими ресурсами, який забезпечує науково обґрунтовану оцінку компетентностей персоналу та сприяє підвищенню ефективності кадрових рішень у довгостроковій перспективі.

Відмітимо при цьому, що Assessment Center вимагає системного поетапного підходу впровадження, зокрема [4, с. 488]: визначення цілей оцінювання та складання профілів компетентностей для посад; належну підготовку оцінювачів і надання усім учасникам чітких інструкцій щодо оцінювання; використання комплексних методів; детальний аналіз та інтерпретацію результатів для підготовки рекомендацій щодо розвитку персоналу та оптимізації HR-процесів тощо. Саме комплексність методів забезпечує усебічну оцінку компетентностей, створюючи необхідний базис для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Assessment Center застосовується здебільшого для відбору кандидатів на ключові посади, оцінки існуючого персоналу, формування кадрового резерву та розробки індивідуальних планів професійного та кар'єрного розвитку. Результати оцінювання інтегруються у систему управління персоналом, дозволяючи: планувати навчання та розвиток компетентностей; посилювати мотивацію та сприяти кар'єрному зростанню; забезпечувати прозорість та об'єктивність процедури оцінки. Дослідження доводять, що Assessment Center сприяє підвищенню ефективності управління персоналом, виявленню потенційних лідерів та формуванню корпоративної культури, орієнтованої на результат та розвиток [1].

Завдяки моделюванню реальних професійних ситуацій вказана технологія дає змогу якісно оцінити потенціал працівників, їх управлінські здібності та готовність до виконання поставлених завдань. До її ключових переваг можна віднести [6, с. 220; 7, с. 180-181]: комплексність оцінювання; високий рівень об'єктивності; поведінкову орієнтацію оцінювання; високу прогностичну валідність; мінімізацію кадрових ризиків; індивідуалізацію результатів оцінювання; розвивальну функцію; відповідність компетентнісному підходу; гнучкість та адаптивність методики; можливість використання для різних HR-процесів; сприяння підвищенню ефективності організації; інтегрованість із цифровими технологіями; підвищення прозорості HR-процесів; універсальність застосування тощо. При цьому, одночасне використання декількох джерел інформації та методів оцінювання забезпечує усебічний аналіз сильних сторін і зон розвитку кожного учасника, що значно перевищує точність традиційних методів. Загалом, методика демонструє високу ефективність як при відборі, так і у процесі розвитку персоналу, забезпечуючи науково обґрунтовані та практично значущі результати оцінювання.

На рисунку 1 наведена інтегрована модель управління компетентностями персоналу з використанням Assessment Center.

Рисунок 1. Місце Assessment Center у системи управління компетентностями
Джерело: розроблено автором

Запропонована модель відображає циклічний характер управління компетентностями персоналу. Особливе місце в цій системі посідає Assessment Center, результати якого забезпечують комплексну оцінку актуального рівня компетентностей і потенціалу працівників, даючи змогу визначити потреби в удосконаленні компетентностей персоналу та сформувати обґрунтовані напрями подальшого розвитку. Подальше поліпшення необхідних компетентностей супроводжується вимірюванням змін і оцінюванням ефективності реалізованих заходів, результати яких створюють інформаційне підґрунтя для актуалізації компетентнісної моделі та планів розвитку. Така циклічність забезпечує адаптивність системи управління компетентностями до змін вимог до персоналу та підтримує безперервність його професійного удосконалення.

Висновки. Отже, у сучасних умовах трансформації ринку праці та цифровізації управлінських процесів методика Assessment Center виступає одним із ключових інструментів реалізації компетентнісного підходу, забезпечуючи всебічну та об’єктивну оцінку професійних і поведінкових компетентностей персоналу. Вона поєднує різноманітні оцінювальні процедури, що дозволяє відтворити складні професійні сценарії та оцінити здатність працівників діяти ефективно в умовах невизначеності. Крім того, методика

сприяє ідентифікації зон розвитку та формуванню індивідуальних планів навчання, забезпечуючи системне поліпшення компетентностей і адаптацію персоналу до інноваційних вимог ринку. Завдяки своїй комплексності, науковій обґрунтованості та орієнтації на цифрову трансформацію, Assessment Center підтверджує ефективність компетентнісного підходу як інструмента підвищення якості управління людським капіталом у сучасних організаціях.

Список використаних джерел

1. Атанасов М.В. Особливості сучасних методів оцінювання персоналу: переваги та недоліки. Економіка та суспільство. 2022. Вип. 39. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-38
URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1385/1335
2. Грідін О.В. Проблеми та перспективи застосування базових підходів до формування управлінських компетентностей в умовах цифровізації. Управління розвитком соціально-економічних систем: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 5-6 березня 2026 року): тези доповіді. Харків: ДБТУ, 2026. С. 503-506.
3. Грідін О.В., Букреєва А.О. Особливості та перспективи впровадження компетентнісного підходу в HR-менеджменті. Topics of research in scientific and educational activities: The XVIII International scientific and practical conference (May 05-07, 2025, Zaragoza, Spain). Zaragoza, Spain. 2025. P. 117-119. URL: https://eu-conf.com/en/events/topics-of-research-in-scientific-and-educational-activities/
4. Малтиз В.В., Тарасенко Ю.В. Оцінка персоналу: сучасні методи та інструменти її проведення. Економіка і суспільство. 2018. Вип. 19. С. 484-489. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-73
URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/19_ukr/73.pdf
5. Нагаєв В.М., Заїка С.О., Грідін О.В., Безнос Є.О. Модель цифровізації формування лідерських якостей менеджерів аграрних формувань в процесі розвитку їх управлінської компетентності. Електронний журнал «Вісник науки та освіти». Серія «Педагогіка». 2026. № 1(43). С. 2367-2384. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-1(43)-2367-2384
URL: https://perspectives.pp.ua/index.php/vno/article/view/36676/36672
6. Петренко О.О. Застосування методів «360 градусів» та «Assessment-центру» для оцінки фахівців за компетентностями. Проблеми економіки. 2015. № 4. С. 216-221. URL: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2015-4_0-pages-216_221.pdf
7. Хребтій І.В., Шевченко С.О. Використання методу Assessment-Center при оцінюванні кандидатів на зайняття посад державної служби. Інвестиції: практика та досвід. 2024. № 23. С. 176-181. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.23.176
URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5224/5271

Section: Mechanics and Electrical Engineering

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРІВ В СИСТЕМАХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Олійник Юлія
к.пед.,наук, доцент
Васюченко Павло
магістр, к.пед.,наук, доцент
Пономаренко Олена
асистент
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна», Україна

Анотація. У роботі розглянуто основні напрями підвищення якості вихідних параметрів силових інверторів, що застосовуються в системах відновлювальної енергетики, зокрема у фотоелектричних та вітроенергетичних установках. Актуальність дослідження зумовлена постійним зростанням частки джерел розподіленої генерації, підключених до електричних мереж через силові електронні перетворювачі. Інвертор є ключовою ланкою між джерелом постійного струму та мережею змінного струму, тому його характеристики значною мірою визначають якість електроенергії, що передається в мережу.

Встановлено, що найбільш ефективним є комплексний підхід, за якого вибір топології інвертора, параметрів фільтра та алгоритмів керування здійснюється узгоджено з характеристиками електричної мережі та режимами роботи джерела відновлювальної енергії. Особливу увагу приділено роботі інверторів у слабких електричних мережах, де зміна мережевого імпедансу може суттєво впливати на стійкість системи та рівень гармонійних спотворень.

Ключові слова: відновлювана енергетика, інвертор, якість електроенергії, гармоніки, ШІМ, LCL-фільтр, активне демпфування, система керування, фотоелектрична система, електрична мережа, прогнозування, стійкість електричних мереж.

Введення. Інтенсивний розвиток відновлюваної енергетики є одним із основних напрямів модернізації сучасних електроенергетичних систем. Фотоелектричні, вітрові, гібридні та акумуляторні енергетичні установки дедалі частіше працюють паралельно з централізованою електричною мережею. Значна частина таких установок використовує силові електронні перетворювачі для перетворення параметрів електричної енергії та забезпечення необхідних умов її передачі до мережі. Тому інвертор фактично є одним із ключових елементів сучасної системи відновлювальної генерації.

Для фотоелектричної електростанції типовим є перетворення постійної напруги, що формується фотоелектричними модулями, у змінну напругу промислової частоти. У вітроенергетичних системах інвертор може використовуватися для перетворення змінної за амплітудою та частотою електричної енергії генератора у параметри, сумісні з електричною мережею. Таким чином, незалежно від конкретного типу первинного джерела, силовий перетворювач повинен забезпечувати необхідну якість електроенергії.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення та систематизація технічних засобів і алгоритмічних методів підвищення якості вихідних параметрів інверторів, що використовуються в системах відновлювальної енергетики, а також встановлення основних факторів, які визначають якість електричної енергії на виході перетворювача.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати такі задачі:

1. Проаналізувати основні показники якості вихідної електроенергії інвертора;
2. Визначити основні причини виникнення гармонійних спотворень вихідної напруги та струму;
3. Проаналізувати можливості використання LC- та LCL-фільтрів;
4. Розглянути методи пасивного й активного демпфування резонансних явищ;

Результати дослідження і їх обговорення.

Вихідний сигнал сучасного силового інвертора формується за допомогою швидкодіючих напівпровідникових ключів. На відміну від ідеального синусоїдального сигналу, напруга на виході силового моста має імпульсний характер. Для формування сигналу необхідної форми використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Теоретичні та практичні питання формування вихідної напруги за допомогою ШІМ докладно розглядаються в роботах D. Holmes та T. Lipo [4].

Збільшення частоти комутації дозволяє перенести значну частину спектральних складових на вищі частоти, що спрощує їх фільтрацію. Однак одночасне підвищення частоти комутації збільшує комутаційні втрати силових напівпровідникових приладів. Тому вибір частоти ШІМ є компромісом між якістю вихідного сигналу, втратами потужності, тепловим режимом та електромагнітною сумісністю.

Для забезпечення якісної передачі енергії необхідно використовувати замкнені контури регулювання. У сучасних інверторах широко застосовується структура з внутрішнім контуром регулювання струму та зовнішнім контуром регулювання напруги постійної ланки або активної потужності. Такий підхід забезпечує швидке відпрацювання зміни навантаження та обмеження струмових перевантажень.

Одним із найбільш поширених способів підвищення якості вихідного струму є використання пасивних фільтрів. Найпростішим рішенням є L-фільтр,

який складається з індуктивності, встановленої між інвертором та електричною мережею.

Збільшення індуктивності дозволяє ефективніше обмежувати високочастотні складові струму, проте одночасно призводить до збільшення маси, габаритів і вартості пристрою. Тому для потужних систем широко застосовуються LCL-фільтри.

Водночас LCL-фільтр має принципову особливість – наявність резонансної частоти. Якщо частота резонансу потрапляє в область, де можливе збудження системи керування або гармонійних складових мережі, виникають коливання струму та напруги. У результаті якість електроенергії погіршується, а в окремих випадках система може втратити стійкість.

Огляд методів демпфування показує, що активне керування дозволяє зменшити втрати, пов'язані з пасивним резистором, однак підвищує вимоги до системи вимірювання та цифрового контролера. [5].

Одним зі способів підвищення якість вихідних параметрів інвертора є удосконалення системи керування. Традиційно для мережевих трифазних перетворювачів використовується керування в обертовій системі координат dq. У такому разі трифазні синусоїдальні величини перетворюються на дві постійні складові – d та q.

За правильної синхронізації осі координат із вектором напруги мережі складова id може використовуватися для керування активною потужністю, а iq – реактивною потужністю. Такий принцип є одним із базових для керування мережевими VSC [6].

Перевагою dq-керування є можливість незалежного регулювання активної та реактивної потужності. Крім того, воно добре інтегрується із системами підтримки напруги та функціями компенсації реактивної потужності.

Важливим напрямом є також використання предиктивного керування. На відміну від традиційного PI-регулятора, модельно-прогнозуючий алгоритм може враховувати майбутню поведінку струму та напруги й обирати оптимальний стан силових ключів. Це забезпечує високу швидкодію, проте потребує більшої обчислювальної потужності контролера.

Одним із найбільш поширених засобів синхронізації є фазове автопідстроювання частоти – PLL. Для трифазних систем можуть використовуватися різні модифікації PLL, зокрема SRF-PLL, DDSRF-PLL та інші алгоритми, здатні працювати за умов спотворення або несиметрії напруги мережі.

Проблема синхронізації особливо загострюється в умовах гармонійно спотвореної та несиметричної мережевої напруги. У таких умовах традиційний PLL може формувати похибку визначення фази, яка передається в контур регулювання струму.

Питання керування та синхронізації розподілених генерувальних систем є одним із ключових напрямів досліджень мережевих перетворювачів [8].

Для підвищення якості роботи інвертора доцільно застосовувати алгоритми, здатні відокремлювати основну складову напруги від гармонік та негативної послідовності. Це дозволяє підвищити точність формування струму навіть за несприятливих умов мережі.

Потрібно зауважити, що окремою проблемою є експлуатація інверторів у слабких електричних мережах. На відміну від потужної мережі з практично постійними параметрами, слабка мережа характеризується значним впливом струму інвертора на напругу в точці приєднання.

Одним із сучасних підходів до вирішення цієї проблеми є імпедансне моделювання інвертора та електричної мережі. У цьому випадку інвертор розглядається як динамічний об'єкт із певним вихідним імпедансом, а стійкість системи оцінюється за взаємодією імпедансу перетворювача та мережі.

Ще одним напрямом підвищення якості є застосування багаторівневих топологій інверторів. На відміну від традиційного дворівневого перетворювача, багаторівневий інвертор формує вихідну напругу з декількох ступенів.

Зі збільшенням кількості рівнів зменшується величина ступінчастої зміни напруги, що дозволяє отримати сигнал, ближчий до синусоїдального. Це дає можливість зменшити амплітуду високочастотних гармонік і вимоги до вихідного фільтра.

Результати проведеного аналізу свідчать, що якість вихідних параметрів інвертора не може бути забезпечена лише одним технічним рішенням. Наприклад, збільшення частоти ШІМ дозволяє зменшити низькочастотну складову пульсацій, але супроводжується зростанням комутаційних втрат. Використання LCL-фільтра суттєво підвищує ефективність фільтрації, але створює проблему резонансу.

Оптимальний результат досягається не за рахунок максимального ускладнення окремого елемента системи, а завдяки узгодженню всіх її компонентів.

Тому розроблення алгоритмів підвищення якості повинно супроводжуватися аналізом стійкості всієї замкненої системи.

Для практичної оцінки ефективності запропонованих технічних рішень доцільно використовувати комплекс критеріїв.

Першим показником є коефіцієнт гармонійних спотворень:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де I_1 – діюче значення основної гармоніки струму; In – діюче значення n-ї гармонійної складової.

Зменшення THD свідчить про наближення вихідного струму до синусоїдальної форми. Проте при оцінюванні якості необхідно аналізувати не лише сумарний THD, а й окремі гармоніки, оскільки різні гармонійні складові можуть по-різному впливати на електрообладнання.

Другим важливим показником є коефіцієнт потужності:

$$\lambda = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

де P – активна потужність, а S – повна потужність.

Для мережевих інверторів бажаним є забезпечення високого коефіцієнта потужності при мінімальних гармонійних спотвореннях.

Також необхідно контролювати відхилення напруги, частоти, фазовий зсув, несиметрію трифазної системи та величину реактивної потужності.

Отже, ефективність модернізації інвертора доцільно визначати за сукупністю показників: THD, коефіцієнта потужності, ККД, динамічної похибки, стійкості, втрат у фільтрі та здатності працювати за змінних параметрів мережі.

Висновки. Інвертор є визначальним елементом системи відновлювальної енергетики, який безпосередньо впливає на якість електричної енергії, що передається до мережі. Підвищення частки фотоелектричних і вітроенергетичних установок підвищує вимоги до його динамічних характеристик, якості вихідної напруги та струму.

Основними причинами погіршення вихідних параметрів інверторів є комутаційні гармоніки, пульсації напруги DC-ланки, похибки системи керування, неточність синхронізації, гармонійне спотворення мережі та резонансні явища у вихідних фільтрах.

Найбільш доцільним є комплексний підхід до підвищення якості, що передбачає узгоджений вибір топології інвертора, частоти ШІМ, параметрів фільтра, алгоритму керування та системи синхронізації з урахуванням характеристик конкретної електричної мережі.

Критеріями ефективності запропонованих заходів доцільно використовувати THD вихідного струму та напруги, коефіцієнт потужності, ККД, динамічну похибку, стійкість, рівень пульсацій і відповідність вимогам стандартів щодо якості електроенергії.

Таким чином, подальше вдосконалення інверторів для систем відновлювальної енергетики має бути спрямоване на створення адаптивних систем керування, здатних автоматично враховувати зміну параметрів електричної мережі, рівня генерації та навантаження. Перспективним напрямом є поєднання високоефективних силових топологій, LCL-фільтрації, активного демпфування, інтелектуальної синхронізації та алгоритмів компенсації гармонік.

Список використаних джерел

1. IEEE Std 1547-2018. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. IEEE, 2018.
2. IEEE Std 519-2022. IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE, 2022.

3. Han Y., Yang M., Li H., et al. Modeling and Stability Analysis of LCL-Type Grid-Connected Inverters: A Comprehensive Overview. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 114975–115001. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2935806.
4. Holmes D. G., Lipo T. A. Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. 744 p.
5. Xu J., Xie S. LCL-resonance damping strategies for grid-connected inverters with LCL filters: a comprehensive review. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. 2018. Vol. 6. P. 292–305.
6. Yazdani A., Iravani R. Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ОБМЕЖУВАЧІВ СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СИСТЕМАХ ВІТРОВИХ ТУРБІН

Васюченко Павло
к.пед.,наук, доцент
Пономаренко Олена
асистент
Секало Лілія
здобувач вищої освіти
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна», Україна

Анотація. Розглянуто підходи до дослідження та оптимізації перехідних процесів обмежувачів струму короткого замикання (ОСКЗ), інтегрованих у системи вітрових турбін. Актуальність задачі зумовлена зростанням частки вітрової генерації, підвищенням вимог до стійкості мережі та необхідністю забезпечення допустимих рівнів струмів під час аварійних режимів. Проаналізовано основні параметри ОСКЗ: пороговий струм, імпеданс у режимі обмеження, час спрацювання, час відновлення, енергію, що поглинається елементами пристрою, а також узгодження з алгоритмами керування перетворювача. Запропоновано багатокритеріальний критерій оптимізації, що враховує обмеження пікового та діючого струму, відхилення напруги, електромеханічні коливання і втрати енергії. Показано, що ефективність ОСКЗ доцільно оцінювати не лише за максимальним струмом короткого замикання, а за сукупністю показників перехідного процесу та здатністю вітротурбіни зберігати вимоги fault ride-through.

Ключові слова: вітрова турбіна, коротке замикання, обмежувач струму, перехідний процес, LVRT/FRT, SFCL, оптимізація, силовий перетворювач.

Введення. Інтеграція вітрових електростанцій у електричні мережі супроводжується зміною характеру аварійних процесів. Для вітротурбін із асинхронними генераторами та для установок на базі DFIG або PMSG характер реакції на провал напруги визначається не тільки параметрами генератора, а й силовими перетворювачами, системами керування, DC-ланкою та засобами обмеження струму. Дослідження FRT для DFIG показують, що під час мережевих збурень необхідно контролювати надструм ротора та перенапругу DC-ланки [1].

ОСКЗ є одним із засобів обмеження аварійного струму. У літературі виділяють надпровідникові, твердотільні, гібридні, резонансні та індуктивні реалізації. Їхні характеристики істотно відрізняються за швидкодією, втратами, рівнем імпедансу в нормальному режимі та здатністю багаторазово працювати без заміни або тривалої регенерації [2, 3]. Для вітроенергетики особливого значення набуває узгодження ОСКЗ із системою керування, оскільки надто сильне обмеження струму може погіршити передачу активної та реактивної потужності під час FRT.

Сучасні дослідження безпосередньо розглядають ОСКЗ як засіб підвищення LVRT вітрових установок та порівнюють SFCL, резонансні й твердотільні топології. Для резонансного ОСКЗ, наприклад, показано можливість зменшення струмових і моментних коливань вітротурбіни під час трифазного замикання [4]. Нормативне оцінювання електричних характеристик вітротурбін і вітрових електростанцій передбачає, зокрема, аналіз гармонік, провалів/підйомів напруги та процедур перевірки моделей під час аварійних подій [5, 6].

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є визначення параметрів, які найбільш істотно впливають на перехідні процеси ОСКЗ у системах вітрових турбін, та формування багатокритеріального підходу до їх оптимізації за умови збереження електричної та електромеханічної стійкості установки.

Для досягнення мети поставлено такі задачі: 1) сформувати математичну модель вітротурбіни, мережі та ОСКЗ; 2) визначити характерні аварійні сценарії; 3) встановити чутливість перехідного процесу до параметрів ОСКЗ; 4) сформувати критерії якості обмеження струму; 5) визначити компроміс між швидкодією, втратами та стабільністю; 6) сформувати рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів.

Результати дослідження і їх обговорення. Для аналізу доцільно використовувати узагальнену модель, у якій коротке замикання задається коефіцієнтом залишкової напруги kU, тривалістю fault та моментом його виникнення. Основними вихідними величинами є максимальний струм Imax, діючий струм у заданому інтервалі, мінімальна напруга на шині, відхилення електромагнітного моменту, швидкість відновлення потужності та час входження системи в допустиму область.

$$I(t) \leq I_{lim} \qquad (1)$$

де Ilim – допустимий струм, визначений з урахуванням характеристик генератора, перетворювача, кабельної мережі та комутаційної апаратури. Для

порівняння варіантів ОСКЗ доцільно нормувати параметри щодо номінальних значень.

$$I* = I/I_N \qquad (2)$$

Ключовим конструктивним параметром є еквівалентний опір або індуктивність, що вводиться в аварійному режимі. Збільшення імпедансу, як правило, зменшує амплітуду струму, однак одночасно збільшує падіння напруги та може впливати на передавання активної і реактивної потужності. Тому вибір параметра не може ґрунтуватися лише на мінімізації Imax. Аналогічна задача оптимізації опору SFCL для вітротурбін показує важливість узгодження струмового обмеження із координацією релейного захисту [7].

Для кількісної оцінки запропоновано цільову функцію, яка об'єднує нормовані критерії струму, напруги, механічних коливань і втрат:

$$J = w_1 Imax + w_2 \Delta U + w_3 \Delta M + w_4 Eloss \qquad (3)$$

де w1 – w4 – вагові коефіцієнти; Imax – нормований максимальний струм; ΔU – відхилення напруги; ΔM – показник коливань електромагнітного моменту; Eloss – енергетичні втрати в ОСКЗ та пов'язаних силових елементах. Ваги мають визначатися з урахуванням призначення установки, класу обладнання та вимог мережі, а не задаватися як універсальні для всіх вітроенергетичних систем.

Окремо слід оптимізувати час спрацювання tdet і час відновлення trec. Якщо ОСКЗ реагує із запізненням, перша пікова складова струму може вже перевищити допустиме значення. Надмірно швидке введення великого імпедансу, навпаки, здатне спричинити значний провал напруги. Тому практично доцільною є область параметрів, у якій обмеження струму відбувається до досягнення критичної амплітуди, але без надмірного погіршення LVRT.

$$t_0 \le t_{det} \le t_{crit} \qquad (4)$$

Для SFCL важливими є також критичний струм переходу, швидкість наростання опору та теплова інерція. Для твердотільних ОСКЗ – швидкодія силових ключів, втрати у провідному стані та допустима комутаційна частота. Для індуктивних обмежувачів істотними є величина введеної індуктивності та її поведінка в нормальному й аварійному режимах [3]. Для резонансних схем необхідно враховувати параметри реактивних елементів і динаміку переходу між режимами [4].

Під час моделювання доцільно розглянути однофазні, двофазні та трифазні замикання, різні місця пошкодження, тривалість аварії та різні рівні потужності вітротурбіни. Для кожного сценарію слід визначати Imax, RMS-струм, мінімальну напругу, час відновлення та максимальне відхилення моменту. Такий підхід відповідає сучасній практиці оцінювання електричних характеристик вітрових електростанцій, де важливими є як аварійні характеристики, так і якість електроенергії [5, 6].

За результатами параметричного аналізу оптимізацію доцільно виконувати не за одним показником, а за Парето-областю. Варіант вважається прийнятним, якщо він одночасно забезпечує обмеження струму, не порушує допустимі межі

напруги та не створює надмірних механічних коливань. Для практичної реалізації можуть застосовуватися перебір параметрів, генетичні алгоритми, методи рою частинок або градієнтні процедури для диференційованих моделей. При цьому доцільно обмежувати область пошуку реальними параметрами силових компонентів.

Важливим результатом є також необхідність узгодження ОСКЗ із регуляторами струму та напруги перетворювача. Якщо алгоритм керування намагається відновити струм швидше, ніж дозволяє ОСКЗ, можливі додаткові коливання та насичення регуляторів. Тому оптимальні параметри ОСКЗ необхідно визначати спільно з налаштуваннями системи керування. Для активного SFCL на базі PMSG показана можливість керованої компенсації напруги під час аварії, що ілюструє потенціал координованого підходу [6].

Висновки. Перехідні процеси ОСКЗ у вітроенергетичних системах визначаються одночасною дією параметрів мережі, генератора, силового перетворювача, алгоритму керування та характеристик самого обмежувача. Основними параметрами оптимізації є пороговий струм, аварійний імпеданс, час спрацювання, швидкість наростання обмежувального опору, час відновлення та теплова енергія, що поглинається ОСКЗ.

Мінімізація пікового струму не повинна бути єдиним критерієм. Оптимальний режим має забезпечувати компроміс між струмовим обмеженням, підтриманням напруги, FRT/LVRT, зменшенням моментних коливань і втратами. Для вибору параметрів ОСКЗ доцільно використовувати багатокритеріальну оптимізацію з аналізом Парето-області та перевіркою результатів для декількох типів і місць короткого замикання.

Перспективним напрямом є спільна оптимізація ОСКЗ і системи керування вітротурбіни, що дає змогу підвищити стійкість до мережевих збурень без надмірного збільшення встановленої потужності та вартості обладнання.

Список використаних джерел

1. Ochoa D., Martinez S. Doubly-fed induction generator based wind turbines: A comprehensive review of fault ride-through strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 45. P. 447–467. DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.064.
2. Safaei A., Zolfaghari M., Gilvanejad M., Gharehpetian G. B. A survey on fault current limiters: Development and technical aspects. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2020. Vol. 118. 105729. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.105729.
3. Heidary A., Radmanesh H., Rouzbehi K., Mehrizi-Sani A., Gharehpetian G. B. Inductive fault current limiters: A review. Electric Power Systems Research. 2020. Vol. 187. 106499. DOI: 10.1016/j.epsr.2020.106499.
4. Demin S., Sitbon M., Aharon I., Barbi E., Machlev R., Belikov J., Levron Y., Baimel D. A new resonant fault current limiter for improved wind turbine transient stability. Electric Power Systems Research. 2023. Vol. 223. 109600. DOI: 10.1016/j.epsr.2023.109600.

5. IEC 61400-21-1:2019. Wind energy generation systems – Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2019.
6. IEC 61400-21-2:2023. Wind energy generation systems – Part 21-2: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind power plants. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2023.
7. Park W. J., Sung B. C., Song K. B., Park J. W. Parameter optimization of SFCL with wind-turbine generation system based on its protective coordination. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2010/2011. DOI: 10.1016/j.ijepes.2010.10.013.

ПІДТРИМКА СТАБІЛЬНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ КОРОТКОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ СИСТЕМ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

Васюченко Павло
к.пед.,наук, доцент
Колінський Артемій
здобувач вищої освіти
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна», Україна

Анотація. У статті розглянуто роль короткострокового прогнозування генерації вітрових електростанцій як інструменту підтримання стійкості електричних мереж за умов зростання частки відновлюваних джерел енергії. Показано, що мінливість швидкості вітру спричиняє похибки балансу активної потужності, відхилення частоти, коливання напруги та збільшення потреби в оперативних резервах. Обґрунтовано застосування гібридних моделей прогнозування, що поєднують чисельний прогноз погоди, статистичні методи та алгоритми машинного навчання. Наведено підходи до використання прогнозів у задачах оперативно-диспетчерського керування, оцінювання резервів, прогнозування рамп-подій і зниження системних обмежень. Зроблено висновок, що підвищення точності короткострокового прогнозу на горизонті від кількох хвилин до 48 годин є необхідною умовою надійної інтеграції вітроенергетики в об’єднану енергосистему.

Ключові слова: вітроенергетика; короткострокове прогнозування; стійкість електричних мереж; частота; резерви потужності; гібридні моделі; машинне навчання; диспетчерське керування.

Введення. Інтеграція вітрових електростанцій у сучасні енергосистеми супроводжується зростанням стохастичності графіка генерації. На відміну від

традиційних синхронних генераторів вітрові установки мають обмежену інерційну відповідь, залежать від метеорологічних умов і можуть створювати швидкі зміни потужності. Це ускладнює підтримання частоти, напруги, перетоків у контрольованих перетинах та необхідного обсягу первинного, вторинного й третинного регулювання.

Короткострокове прогнозування генерації вітроенергетичних систем охоплює горизонти від кількох хвилин до 24–72 годин і є ключовим інформаційним контуром для операторів системи передачі та розподілу. Точний прогноз дає змогу завчасно планувати склад генеруючого обладнання, оцінювати потребу в резервах, зменшувати обсяги аварійного обмеження ВДЕ, знижувати витрати на балансування та запобігати порушенням критеріїв статичної й динамічної стійкості.

Актуальність теми посилюється для енергосистем з високою часткою ВДЕ, обмеженою маневреністю теплової генерації та зростаючими вимогами до якості електроенергії. У таких умовах помилка прогнозу вітрової генерації безпосередньо трансформується в дефіцит або надлишок потужності, що має бути компенсований резервами, накопичувачами енергії, гнучким попитом або міжсистемними перетоками.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження — обґрунтувати науково-технічні засади підтримання стабільності електричних мереж шляхом підвищення точності та операційної придатності короткострокових прогнозів генерації систем вітроенергетики.

Для досягнення мети поставлено такі задачі:

1. Систематизувати вплив похибок прогнозу вітрової генерації на частотну, напругову та балансову стійкість енергосистеми.
2. Порівняти класичні, фізичні та інтелектуальні методи короткострокового прогнозування потужності ВЕС.
3. Сформувати структуру гібридної прогнозної моделі, придатної для диспетчерських задач на горизонтах 15 хв – 48 год.
4. Визначити показники якості прогнозу, критичні для розрахунку резервів і виявлення рамп-подій.
5. Окреслити схему використання прогнозної інформації в контурі оперативно-диспетчерського керування електричними мережами.

Результати дослідження і їх обговорення.

Вплив невизначеності вітрової генерації на стійкість мереж

Основними системними наслідками похибок прогнозу є:

- відхилення частоти внаслідок небалансу активної потужності;
- зростання потреби в оперативних резервах і вартості балансування;
- перевантаження ліній електропередавання та зниження запасів статичної стійкості;
- коливання напруги в мережах з високою концентрацією ВЕС;
- ризик каскадних обмежень генерації під час різких змін швидкості вітру.

Особливо небезпечними є непередбачені рамп-події — швидкі зростання або спади потужності протягом 15–60 хв. Саме вони визначають необхідність не лише точкового прогнозу середньої потужності, а й прогнозу інтервалів невизначеності та ймовірності екстремальних змін.

Методи короткострокового прогнозування. Для горизонту до 1 години ефективними залишаються методи персистенції, експоненційного згладжування, авторегресійні моделі та алгоритми nowcasting за даними SCADA, лідарів і метеорологічних станцій майданчика. Для горизонту 6–48 годин визначальну роль відіграють чисельні моделі прогнозу погоди (NWP) з подальшим даунскейлінгом швидкості вітру до рівня гондоли та перетворенням у потужність за характеристикою вітроустановки.

Найвищу операційну точність забезпечують гібридні моделі:

- NWP + статистична корекція похибки;
- ансамблеве прогнозування для оцінювання квантилів генерації;
- моделі машинного навчання (Random Forest, Gradient Boosting, LSTM, Transformer) з урахуванням історичної генерації, напрямку вітру, температури, атмосферної стратифікації та стану енергосистеми;
- комбінування фізичної моделі парку з інтелектуальною корекцією систематичних зміщень.

Для диспетчерських застосувань доцільно формувати не один детермінований прогноз, а вірогіднісний: очікуване значення, квантилі 10/50/90 та оцінку ризику рамп-події. Такий формат безпосередньо використовується для розрахунку необхідного резерву.

Показники якості та зв’язок із системними послугами. Для оцінювання прогнозів запропоновано застосовувати комплекс показників: MAE, RMSE, nMAE, похибку прогнозу градієнта потужності, покриття прогнозних інтервалів та частку пропущених екстремальних подій. Середня абсолютна похибка сама по собі недостатня: дві моделі з однаковим MAE можуть мати принципово різний вплив на частотну стійкість, якщо одна з них систематично запізнюється на рамп-подіях.

Результати аналізу свідчать, що зменшення nMAE короткострокового прогнозу на 1–2 відсоткові пункти для великого вітрового парку дає змогу:

- знизити розрахунковий обсяг вторинного резерву;
- зменшити кількість аварійних пусків маневреної генерації;
- підвищити точність планування перетоків;
- обмежити обсяги curtailement у години високої генерації;
- покращити якість передквазіусталеного оцінювання режиму.

Схема використання прогнозів у контурі керування. Запропоновано дворівневу схему. На рівні енергосистеми короткостроковий прогноз ВЕС входить до задач unit commitment, економічного диспетчерування, розрахунку резервів і оцінювання допустимих перетоків. На рівні електричної мережі локальні прогнози використовуються для керування реактивною потужністю, регулювання напруги, виявлення ризику перевантаження фідерів і координації накопичувачів енергії.

Для підтримання стабільності доцільно поєднувати прогноз генерації з прогнозом попиту та доступності гнучкості. Це дає змогу формувати адаптивну стратегію: у періоди високої невизначеності збільшувати резерв і задіювати накопичувачі, а за низької невизначеності — зменшувати вартість утримання системи.

Окрему увагу слід приділяти якості вхідних даних: синхронізації часових рядів SCADA, обробці пропусків, фільтрації відмов датчиків і врахуванню зупинок установок на технічне обслуговування. Без попередньої обробки навіть складні нейромережеві моделі втрачають операційну цінність.

Висновки. Короткострокове прогнозування вітрової генерації є не допоміжною аналітичною функцією, а необхідним елементом підтримання стійкості електричних мереж за високої частки ВДЕ.

Найбільший системний ефект забезпечують гібридні та вірогіднісні моделі, здатні прогнозувати не лише середню потужність, а й рамп-події та інтервали невизначеності. При цьому чіткість прогнозу слід оцінювати за показниками, релевантними для частотного регулювання, розрахунку резервів і керування режимом мережі, а не лише за середньою абсолютною похибкою. Інтеграція прогнозів у контур оперативно-диспетчерського керування дає змогу зменшити небаланси, обмежити аварійні режими та підвищити ефективність використання гнучкості енергосистеми.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на адаптивні ансамблеві моделі, спільне прогнозування вітру й попиту, а також на формалізацію вимог до точності прогнозу як до системної послуги.

Список використаних джерел

1. Ackermann T. Wind Power in Power Systems. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2012. 1120 p.
2. Giebel G., Brownsword R., Kariniotakis G., Denhard M., Draxl C. The State-of-the-Art in Short-Term Prediction of Wind Power: A Literature Overview. 2nd ed. ANEMOS.plus / Risø DTU, 2011. 110 p.
3. Soman S. S., Zareipour H., Malik O., Mandal P. A review of wind power and wind speed forecasting methods with different time horizons // North American Power Symposium. 2010. P. 1–8.
4. Foley A. M., Leahy P. G., Marvuglia A., McKeogh E. J. Current methods and advances in forecasting of wind power generation // Renewable Energy. 2012. Vol. 37, No. 1. P. 1–8.
5. Zhang Y., Wang J., Wang X. Review on probabilistic forecasting of wind power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 32. P. 255–270.
6. Wang X., Guo P., Huang X. A review of wind power forecasting models // Energy Procedia. 2011. Vol. 12. P. 770–778.
7. ENTSO-E. Operational Handbook / Frequency Stability and Reserves. Brussels: ENTSO-E, 2021.

8. IEA. Wind Energy Technology Roadmap and System Integration Insights. Paris: International Energy Agency, 2023.
9. Kundur P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill, 1994. 1176 p.
10. НЕК «Укренерго». Кодекс системи передачі. Київ, 2024.
11. Hong T., Pinson P., Fan S., Zareipour H., Troccoli A., Hyndman R. J. Probabilistic energy forecasting: Global Energy Forecasting Competition 2014 and beyond // International Journal of Forecasting. 2016. Vol. 32, No. 3. P. 896–913.
12. Tande J. O. G. Grid integration of wind farms // Wind Energy. 2003. Vol. 6, No. 3. P. 281–295.

DECENTRALIZATION OF THE ENERGY SYSTEM AS A STRATEGY FOR UKRAINE'S ENERGY SECURITY

Meish Yuliia
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Higher and Applied Mathematics
https://orcid.org/0000-0001-7492-700X
Samar Tymofii
Student,
Educational and Research Institute of Energetics,
Automatics and Energy Saving
NULES

The current challenges confronting Ukraine's energy system necessitate a fundamental reassessment of the traditional model of centralized electricity generation and supply. Extensive damage to energy infrastructure resulting from Russian attacks has revealed the vulnerability of large-scale generation and grid facilities, thereby underscoring the need to pursue a more flexible and resilient model of energy system operation. According to estimates by the International Energy Agency (IEA), following the attacks of spring 2024, Ukraine's available dispatchable generation capacity declined to approximately 12 GW, compared to roughly 38 GW prior to the full-scale invasion [1]. Under these conditions, the decentralization of the energy system acquires significance not merely as a direction for modernizing the energy sector, but as an instrument for ensuring energy security.

Decentralization of the energy system entails an increased role for distributed energy resources (DER) located closer to the end consumer. These include solar and wind power plants, cogeneration units, small gas turbines and gas-piston installations, energy storage systems, and micro grids. In contrast to the traditional model, in which a substantial share of electricity is generated at large centralized power plants and transmitted over considerable distances, the distributed model involves the formation of an aggregate of local generation and storage sources.

The strategic significance of this transformation lies, first and foremost, in enhancing the resilience of the energy system. The geographic dispersion of generation capacity reduces the dependence of individual territories on the operation of large generation facilities and transmission networks. Provided that local generation is adequately developed, damage to a single facility does not necessarily result in large-scale disruption of electricity supply. Moreover, the modular nature of distributed generation enables the more rapid deployment of new capacity and the restoration of power supply in areas experiencing electricity shortages.

The International Energy Agency regards distributed energy resources as one of the key components in the recovery and modernization of Ukraine's energy system. According to IEA scenario projections, by 2030 a substantial increase in solar generation, wind power, and storage capacity could be combined with the development of other flexible generation capacities. In particular, the IEA's baseline scenario for achieving Ukraine's defined energy targets envisages approximately 24 GW of solar generation, 11 GW of wind generation, and 6 GW of energy storage systems, in addition to existing capacity [2].

The development of distributed solar generation is of particular importance. Its advantages lie in the possibility of installing a large number of relatively small units on building rooftops, industrial facilities, and other available surfaces, without concentrating capacity in a single location. According to IEA estimates, in order to form a more decentralized and resilient energy system, Ukraine needs to expand distributed solar generation by approximately 4 GW annually through 2030 [3].

At the same time, decentralization of generation alone does not guarantee energy security. An essential precondition is the integration of local generation with energy storage systems, digital management technologies, and the development of smart grids. Storage systems make it possible to compensate for the variability inherent in renewable energy production, to provide backup power supply, and to enhance overall system flexibility. The Smart Grid concept, in turn, encompasses digital monitoring, automated management of electricity flows, forecasting of production and consumption, and the integration of a large number of decentralized resources.

The development of energy micro grids capable of functioning both as part of the unified energy system and in autonomous (islanded) mode constitutes another important area of development. For Ukraine, micro grids oriented toward supporting critical infrastructure – hospitals, water utilities, heat supply enterprises, communications facilities, and educational and administrative institutions – hold particular potential. The local integration of generation, storage, and demand-side management can ensure the continuity of essential services even in the event of partial damage to the external grid.

Decentralization is also consistent with the long-term development priorities of Ukraine's energy sector. Ukraine's Energy Strategy through 2050 identifies the necessity of transforming the energy sector and integrating it with the European energy space [4]. The National Energy and Climate Plan through 2030, in turn, establish benchmarks for the development of renewable energy, energy efficiency, and the

reduction of greenhouse gas emissions [5]. The Concept for the Implementation of Smart Grids in Ukraine through 2035 provides the regulatory and strategic foundation for the digital transformation of electricity networks [6].

Alongside its advantages, decentralization also presents a range of challenges. These include substantial initial capital investment, the need to modernize distribution networks, the integration of numerous small producers, the assurance of cyber security, the improvement of regulatory mechanisms, and the attraction of private investment. It is likewise essential to ensure coordination among the state, local self-government bodies, network operators, businesses, and consumers. Decentralization should therefore be regarded not as the mechanical substitution of large power plants with small facilities, but as the formation of a multi-level energy system.

Thus, decentralization of the energy system may be considered one of the key directions for strengthening Ukraine's energy security. The combination of distributed generation, energy storage systems, micro grids, digital technologies, and flexible demand-side management creates the preconditions for enhancing the resilience of energy supply. At the same time, the effectiveness of this transformation will depend on the coherence of state policy, regulatory and legal frameworks, investment mechanisms, and the technical modernization of networks. Accordingly, the recovery of Ukraine's energy sector should be viewed not merely as the reconstruction of damaged capacity, but as an opportunity to transition toward a more distributed, flexible, digitalized model of the energy system, integrated with the European energy network.

References

1. International Energy Agency. Empowering Ukraine Through a Decentralised Electricity System : A roadmap for Ukraine's increased use of distributed energy resources towards 2030. Paris : IEA, 2024. URL: https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system
2. International Energy Agency. Policy options to accelerate distributed solar PV in Ukraine. Paris : IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/policy-options-to-accelerate-distributed-solar-pv-in-ukraine
3. International Energy Agency. Ukraine's Energy Security: A pre-winter assessment. Paris : IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security/a-pre-winter-assessment
4. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-р
5. Про схвалення Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.06.2024 № 587-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2024-р
6. Про схвалення Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.10.2022 № 908-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-р

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛЯЦІЇ ЗМІННОЇ ЧАСТОТИ ДЛЯ МЕРЕЖЕВОГО ІНВЕРТОРА З УРАХУВАННЯМ ОПТИМІЗАЦІЇ ВТРАТ

Васюченко Павло
к.пед.,наук, доцент
Пономаренко Олена
асистент
Омельченко Ігор
магістр
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна», Україна

Анотація. У роботі досліджено вплив параметрів модуляції змінної частоти на енергетичні та електромагнітні характеристики мережевого інвертора. Розглянуто взаємозв'язок між частотою перемикання силових напівпровідникових ключів, комутаційними втратами, втратами провідності, пульсаціями струму та коефіцієнтом гармонійних спотворень. Обґрунтовано доцільність використання змінної частоти широтно-імпульсної модуляції для підвищення енергоефективності мережевих інверторів систем відновлювальної енергетики. Запропоновано критерій оптимізації, який враховує сумарні втрати потужності та обмеження за якістю струму. Визначено основні параметри, які доцільно враховувати під час формування закону зміни частоти модуляції.

Ключові слова: мережевий інвертор, змінна частота, широтно-імпульсна модуляція, комутаційні втрати, втрати провідності, THD, силовий ключ, відновлювальна енергетика, LCL-фільтр, енергоефективність.

Введення. Широке впровадження фотоелектричних та вітроенергетичних установок супроводжується збільшенням кількості мережевих інверторів, які забезпечують перетворення електричної енергії постійного струму у змінний струм та її передачу до електричної мережі. Для таких систем актуальними є одночасне забезпечення високої енергоефективності, необхідної якості електроенергії, надійності та тривалого ресурсу силових напівпровідникових приладів.

Одним із ключових параметрів роботи інвертора є частота перемикання силових ключів. У традиційній системі ШІМ вона залишається сталою протягом усього періоду вихідного сигналу. Збільшення частоти перемикання дозволяє зменшити пульсації струму та полегшити фільтрацію високочастотних складових. Проте кожний процес вмикання та вимикання напівпровідникового ключа супроводжується втратою енергії. Тому зі збільшенням частоти перемикання зростають комутаційні втрати [1].

Встановлення надмірно високої частоти ШІМ не завжди є доцільним, оскільки додаткові втрати знижують ККД перетворювача та збільшують теплове навантаження силових компонентів [2]. Особливого значення проблема набуває для інверторів відновлювальної енергетики, які працюють у широкому діапазоні потужностей. Наприклад, для фотоелектричної установки протягом доби потужність може змінюватися від близької до номінальної до дуже малої [3]. За постійної частоти ШІМ це означає, що кількість комутацій залишається практично незмінною навіть у режимах малої потужності. Використання змінної частоти потенційно дає змогу адаптувати комутаційний режим до поточного струму та потужності.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження параметрів модуляції змінної частоти мережевого інвертора та визначення умов її застосування для зменшення сумарних втрат потужності при забезпеченні допустимої якості вихідного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати складові втрат потужності мережевого інвертора;
- визначити взаємозв'язок між частотою перемикання та комутаційними втратами;
- сформувати критерій оптимізації частоти перемикання;
- оцінити доцільність адаптації частоти залежно від миттєвого струму та режиму роботи інвертора.

Результати дослідження і їх обговорення.

Загальні втрати потужності мережевого інвертора визначаються сукупністю втрат у силових напівпровідникових приладах, пасивних елементах вихідного фільтра, системі керування та допоміжних пристроях. У загальному випадку сумарні втрати можна представити у вигляді

$$P\Sigma = P_{cond} + P_{sw} + P_L + P_C + P_{aux} \qquad (1)$$

де P_{cond} – втрати потужності під час провідності силових напівпровідникових ключів; P_{sw} – комутаційні втрати, зумовлені процесами вмикання та вимикання ключів; P_L – втрати в індуктивних елементах вихідного фільтра; P_C – втрати в конденсаторах фільтра; Paux – втрати в системах керування, вимірювання, охолодження та інших допоміжних пристроях.

Для дослідження впливу частоти модуляції особливого значення набувають втрати провідності P_{cond} та комутаційні втрати P_{sw}. Перші переважно визначаються величиною струму навантаження, опором відкритого каналу або прямим падінням напруги на силовому приладі, тоді як комутаційні втрати безпосередньо залежать від частоти перемикання, напруги DC-ланки та миттєвого значення струму.

За спрощеного підходу комутаційні втрати можна визначити як

$$P_{sw} = f_{sw}\,(E_{on} + E_{off}) \qquad (2)$$

де f_{sw} – частота перемикання; E_{on} та E_{off} – енергія, що розсіюється під час одного циклу вмикання та вимикання силового ключа відповідно.

Оскільки енергія комутації залежить від струму та напруги, більш точне представлення має вигляд

$$Psw = f_{sw} [E_{on}(I, U) + Eoff (I, U)] \quad (3)$$

Отже, зміна частоти модуляції безпосередньо впливає на комутаційну складову загальних втрат інвертора. Збільшення fsw, як правило, забезпечує зменшення пульсацій вихідного струму та покращення його гармонійного складу, однак одночасно призводить до зростання комутаційних втрат. Саме ця взаємозалежність є основою задачі оптимального вибору частоти модуляції для мережевого інвертора.

Для діодів додатково необхідно враховувати втрати, пов’язані з процесом відновлення зворотної напруги. Вони виникають унаслідок накопичення та подальшого виведення заряду під час перемикання напівпровідникового приладу і можуть становити помітну складову загальних комутаційних втрат. У дослідженнях надійності силових перетворювачів показано, що частота перемикання впливає не лише на середнє значення втрат потужності, а й на теплові процеси та температурні коливання напівпровідникових приладів [4].

За сталої частоти перемикання

$$f_{sw} = const \quad (4)$$

кількість комутацій протягом періоду основної гармоніки визначається параметрами застосованого алгоритму широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). У разі використання змінної частоти перемикання

$$f_{sw} = f_{sw}(t) \quad (5)$$

кількість комутацій протягом окремих ділянок періоду може змінюватися залежно від миттєвого значення струму, напруги, коефіцієнта модуляції або іншого керуючого параметра.

Одним із доцільних підходів до формування закону змінної частоти є зменшення частоти перемикання на тих ділянках періоду основної гармоніки, де абсолютне значення струму є відносно невеликим. Навпаки, у режимах протікання значного струму частоту перемикання можна збільшувати для обмеження пульсацій струму та забезпечення необхідної якості його формування. Такий принцип дає змогу раціональніше розподіляти комутаційні процеси протягом періоду основної гармоніки та потенційно зменшувати сумарні втрати потужності.

У спрощеному вигляді закон зміни частоти перемикання може бути представлений залежністю

$$f_{sw}(t) = f_{min}+(f_{max} - f_{min}) F(I(t)) \quad (6)$$

де f_{min} і f_{max} – мінімальна та максимальна допустимі частоти перемикання відповідно; I(t) – миттєве значення струму; F(I) – функція адаптації частоти, яка визначає характер її зміни залежно від поточного режиму роботи інвертора.

При цьому просте збільшення частоти перемикання пропорційно струму не гарантує отримання оптимального режиму роботи. Формування закону змінної частоти повинно здійснюватися з одночасним урахуванням комутаційних втрат, коефіцієнта гармонійних спотворень струму, його пульсацій, втрат у пасивних

елементах фільтра та теплового навантаження силових напівпровідникових приладів.

Для оцінювання якості струму мережевого інвертора використовується коефіцієнт гармонійних спотворень

$$THD_I=(\sqrt{(\sum n=2\infty I_n\hat{}2))}/(I_1)\cdot 100\% \qquad (7)$$

де I_1 – діюче значення основної гармоніки струму; I_n – діюче значення n-ї гармонійної складової струму.

Зменшення частоти перемикання, як правило, супроводжується збільшенням пульсацій струму та може призводити до зміни рівня високочастотних гармонійних складових. Водночас застосування змінної частоти перемикання дає змогу не тільки регулювати величину комутаційних втрат, а й керувати розподілом спектральних складових струму. Оптимальний вибір моментів і тривалості комутаційних циклів може сприяти зменшенню окремих гармонійних складових та забезпеченню нормативних показників якості електричної енергії [3].

Окремого розгляду потребує взаємодія змінної частоти перемикання з вихідним LCL-фільтром мережевого інвертора. Параметри LCL-фільтра визначаються, зокрема, номінальною потужністю інвертора, напругою DC-ланки, частотою мережі, діапазоном частот перемикання та встановленими обмеженнями щодо рівня гармонійних складових. У разі зміни частоти ШІМ змінюється положення високочастотних складових спектра струму відносно резонансної частоти фільтра. Тому закон зміни f_{sw} необхідно формувати з урахуванням частотних характеристик LCL-фільтра, щоб уникнути наближення робочих гармонійних складових до області резонансу та, відповідно, виникнення небажаних коливань. Узгодження параметрів LCL-фільтра, алгоритму модуляції та системи керування є важливою умовою стабільної роботи мережевого перетворювача [5].

Для комплексної оптимізації режиму роботи інвертора доцільно сформувати багатокритеріальну цільову функцію

$$J = w_1 P\Sigma + w_2 THDI + w_3 \Delta I_{rms} + w4\Delta T \qquad (8)$$

$$f_{min} \le f_{sw}(t) \le f_{max} \qquad (9)$$

$$THDI \le THD_{max} \qquad (10)$$

$$I_{ripple} \le I_{ripple,max} \qquad (11)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4 – вагові коефіцієнти відповідних критеріїв; $P\Sigma$ – сумарні втрати потужності інвертора; THDI – коефіцієнт гармонійних спотворень струму; ΔI_{rms} – характеристика пульсаційної складової струму; ΔT – показник температурного навантаження силових напівпровідникових приладів.

Таким чином, оптимальна частота не обов'язково повинна бути постійною. Вона визначається поточним режимом роботи інвертора.

У роботі [6] запропоновано підхід до визначення змінної частоти для мережевого інвертора з LCL-фільтром, у якому одночасно враховуються втрати MOSFET, втрати індуктивностей, теплові обмеження та гармонічні характеристики. Такий підхід є особливо актуальним для інверторів

відновлювальної енергетики, оскільки дає можливість розглядати ефективність не як окремий показник, а як результат оптимізації взаємопов'язаних параметрів системи.

Для практичної реалізації алгоритму доцільно передбачити декілька діапазонів роботи. При малих значеннях вихідної потужності частота перемикання може бути знижена до мінімально допустимого рівня. При збільшенні струму частота поступово підвищується. За наближення до номінального режиму вона повинна обмежуватися максимальним значенням, що визначається допустимими втратами та тепловим режимом.

Перспективним є застосування адаптивного алгоритму, у якому частота перемикання визначається на основі поточного струму, напруги DC-ланки, коефіцієнта модуляції та температури силових напівпровідникових приладів. У такому випадку алгоритм може враховувати не тільки електричні, а й теплові обмеження.

Висновки. Відомо, що частота перемикання є одним із основних параметрів, що визначає енергетичні та електромагнітні характеристики мережевого інвертора. Її збільшення сприяє зменшенню пульсацій струму, однак супроводжується зростанням комутаційних втрат. При цьому застосування модуляції змінної частоти дозволяє адаптувати кількість комутацій до поточного режиму роботи інвертора та створює можливість зменшення сумарних втрат порівняно з режимом сталої частоти. Оптимізація частоти повинна виконуватися не лише за критерієм мінімуму втрат.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивного алгоритму змінної частоти для мережевого інвертора фотоелектричної установки з урахуванням параметрів LCL-фільтра та зміни потужності генерації протягом добового циклу.

Таким чином, використання змінної частоти модуляції є перспективним способом підвищення енергоефективності мережевих інверторів систем відновлювальної енергетики. Оптимальний алгоритм повинен забезпечувати динамічне узгодження частоти перемикання з поточним електричним і тепловим режимом, зберігаючи при цьому необхідну якість струму, стійкість системи та допустимий рівень гармонійних спотворень.

Список використаних джерел

1. Holmes D. G., Lipo T. A. Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice. IEEE Press/Wiley-Interscience, 2003. 744 p.
2. Ibrahim A., Sujod M. Z. Variable switching frequency hybrid PWM technique for switching loss reduction in a three-phase two-level voltage source inverter. Measurement. 2020. Vol. 151. Article 107192. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.107192.
3. Tran Q.-T., Truong A. V., Le P. M. Reduction of harmonics in grid-connected inverters using variable switching frequency. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2016. Vol. 82. P. 242–251. DOI: 10.1016/j.ijepes.2016.03.027.

4. Strategy for enhancing reliability and lifetime of DC-AC inverters used for wind turbines. Electric Power Systems Research. 2018. Досліджено вплив частоти перемикання та комутаційних втрат на теплові процеси й надійність силових ключів інвертора.
5. Grid-Connected Converters: A Brief Survey of Topologies, Output Filters, Current Control, and Weak Grids Operation. Energies. 2023. Vol. 16, No. 9. Article 3611. Розглянуто топології мережевих перетворювачів, LCL-фільтри, керування та режими роботи зі слабкою мережею.
6. Parameter Design Method of Variable Frequency Modulation for Grid-Tied Inverter Considering Loss Optimization and Thermal and Harmonic Constraints. Energies. 2026. Vol. 19, No. 4. Article 1032. Досліджено параметри змінної частоти для мережевого інвертора з урахуванням втрат, теплових та гармонічних обмежень.
7. A Theoretical Concept of Decoupled Current Control Scheme for Grid-Connected Inverter with L-C-L Filter. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 14. Article 6256. DOI: 10.3390/app11146256. Розглянуто керування мережевим інвертором із LCL-фільтром та питання формування вихідного струму.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ІНВЕРТОРІВ У РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ, ЩО ФОРМУЮТЬ МЕРЕЖУ, ЗА УМОВ НЕНАВМИСНОГО ОСТРІВКУВАННЯ

Васюченко Павло
к.пед.,наук, доцент
Циганеску Катерина
магістр
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна», Україна

Анотація. У роботі досліджено продуктивність інверторів, що формують мережу (Grid-Forming, GFM), під час переходу від паралельної роботи із зовнішньою мережею до автономного режиму внаслідок ненавмисного острівкування. Розглянуто вплив початкового дисбалансу активної та реактивної потужності, параметрів droop-керування, віртуальної інерції, віртуального імпедансу та обмеження струму на динаміку частоти, напруги і потужності. Для оцінювання продуктивності запропоновано сукупність показників: максимальне відхилення частоти й напруги, швидкість зміни частоти, час установлення та максимальний струм. Показано, що GFM-інвертор здатний підтримувати локальну мережу після втрати зовнішнього джерела, однак якість перехідного

процесу визначається балансом потужності, запасом енергії та налаштуваннями регуляторів. Окремо відзначено необхідність урахування струмових обмежень та відмінностей між результатами моделювання й експериментальними випробуваннями.

Ключові слова: інвертор, що формує мережу; GFM; ненавмисне острівкування; мікромережа; droop-керування; віртуальна інерція; частота; напруга; струмове обмеження.

Введення. Зростання частки відновлюваних джерел енергії та накопичувачів, підключених через силові перетворювачі, зменшує роль традиційної електромеханічної інерції та змінює характер динамічних процесів в електроенергетичних системах. GFM-інвертори розглядаються як один із ключових засобів підтримання напруги, частоти та стійкості в системах із високою часткою інверторних ресурсів. На відміну від GFL-інверторів, вони формують власний опорний вектор напруги і не потребують фазового автопідстроювання для базового формування напруги [1–3].

Особливого значення набуває ненавмисне острівкування, коли локальна мережа втрачає електричний зв'язок із зовнішньою енергосистемою без попередньо заданої команди на автономну роботу. У такому випадку інвертор повинен одночасно забезпечити швидку перебудову режиму та не допустити неприпустимих відхилень напруги й частоти. Для GFM-системи ця задача пов'язана не тільки з алгоритмом виявлення острівкування, а й з фізичними обмеженнями силового перетворювача, зокрема доступною активною потужністю та максимальним струмом [2,4].

Сучасні GFM-рішення включають droop-керування, віртуальну синхронну машину, power-synchronization control та virtual oscillator control. Відмінності внутрішніх контурів керування можуть істотно змінювати перехідні характеристики, особливо в слабких мережах та при великих збуреннях [1,3]. Експериментальні дослідження переходу до острівного режиму також показують, що усереднені часові характеристики можуть добре відтворюватися моделлю, тоді як швидкі процеси силової електроніки потребують експериментальної перевірки [5].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є оцінювання продуктивності GFM-інвертора в різних режимах роботи під час ненавмисного острівкування та визначення параметрів, які найбільшою мірою впливають на якість перехідного процесу.

Для досягнення мети поставлено такі задачі: сформувати характерні сценарії роботи; визначити вплив дисбалансу активної та реактивної потужності; проаналізувати роль droop-керування і віртуальної інерції; оцінити вплив струмового обмеження; сформувати критерії порівняння режимів та визначити вимоги до моделювання й експериментальної перевірки.

Результати дослідження і їх обговорення. Для аналізу приймемо локальну мережу з GFM-інвертором, накопичувачем енергії, LCL-фільтром та навантаженням. До моменту t_{is} система працює паралельно із зовнішньою

мережею. Після розмикання зв'язку баланс активної потужності визначається локальними джерелами і навантаженням. Початковий дисбаланс можна подати у вигляді:

$$\Delta P = P_{GFM} - P_L \qquad (1)$$

де P_{GFM} – активна потужність інвертора, P_L – активна потужність навантаження. При $\Delta P < 0$ виникає дефіцит потужності, який спричиняє зниження частоти, а при $\Delta P > 0$ – її підвищення. Реальна реакція залежить від запасу потужності накопичувача, обмеження струму та налаштувань регулятора.

Для droop-керування частотно-потужнісну характеристику в спрощеній формі можна записати:

$$f = f_0 - m_P(P - P_0) \qquad (2)$$

де f_0 і P_0 – номінальні частота та потужність, m_P – коефіцієнт активної droop-характеристики. Реактивна потужність пов'язується з напругою аналогічною залежністю:

$$V = V_0 - n_Q(Q - Q_0) \qquad (3)$$

Зменшення коефіцієнта m_P підвищує жорсткість частотного регулювання, але збільшує вимоги до швидкості зміни потужності. Занадто малий коефіцієнт може підсилювати взаємодію паралельних інверторів, а надто великий – призводити до значного статичного відхилення частоти. Аналогічний компроміс існує між жорсткістю напруги та розподілом реактивної потужності. Огляди GFM-керування виділяють droop, VSM, PSC та VOC як основні підходи, причому їхні динамічні властивості відрізняються [1,3].

Важливим критерієм переходу є швидкість зміни частоти (RoCoF):

$$RoCoF = |df/dt| \qquad (4)$$

Високе значення RoCoF означає швидке відхилення частоти та зменшення часу для реакції автоматики. Введення віртуальної інерції дає змогу сформувати керовану протидію швидким змінам потужності. Проте збільшення віртуальної інерції не повинно розглядатися ізольовано: надмірне уповільнення реакції може погіршити відновлення балансу після наступної зміни навантаження. Отже, параметр має вибиратися разом із характеристиками джерела енергії та швидкістю внутрішніх контурів.

Для напруги доцільно визначати максимальне відносне відхилення:

$$\delta V_{max} = \max(|V(t) - V0|/V0) \cdot 100\% \qquad (5)$$

а для частоти:

$$\delta f_{max} = \max(|f(t) - f_0|) \qquad (6)$$

Додатковим показником є час установлення t_s – час, після якого контрольована величина залишається в установленому допустимому діапазоні. Сукупне використання δV_{max}, δf_{max}, RoCoF і t_s дозволяє порівнювати різні налаштування інвертора без зведення його роботи до одного показника.

Розглянемо чотири характерні режими. У першому інвертор до острівкування працює поблизу номінальної точки, а дисбаланс після відокремлення є малим. У цьому випадку перехід може супроводжуватися невеликим відхиленням частоти та напруги. У другому режимі навантаження

перевищує доступну генерацію. Тоді накопичувач повинен збільшити віддачу активної потужності, а при досягненні межі потужності подальше зниження частоти може стати неминучим. У третьому режимі спостерігається надлишок генерації, що спричиняє підвищення частоти та потребує зменшення активної потужності. Четвертий режим характеризується різкою зміною реактивного навантаження і, відповідно, підвищеним відхиленням напруги.

Окрему проблему становить струмове обмеження. Силовий перетворювач має значно меншу короткочасну перевантажувальну здатність порівняно із синхронною машиною, тому алгоритм current limiting фактично визначає поведінку GFM-інвертора під час значних збурень. Обмеження струму впливає не тільки на захист силових ключів, а й на напругову підтримку, стійкість та післяаварійне відновлення [4].

Віртуальний імпеданс є ще одним засобом формування бажаних властивостей джерела напруги. Він може сприяти зменшенню циркулюючих струмів між паралельними інверторами та покращувати розподіл реактивної потужності. Водночас надмірний віртуальний опір збільшує падіння напруги і може погіршувати якість живлення навантаження. Тому його параметри повинні узгоджуватися з номінальним струмом, допустимим діапазоном напруги та характеристиками мережі.

Порівняння різних реалізацій GFM показує, що внутрішні контури керування можуть мати істотний вплив на стабільність і швидкодію. Зокрема, каскадні контури напруги та струму потребують ретельного налаштування, а їхня динаміка може впливати на швидкість реакції при струмовому обмеженні [3].

З практичної точки зору дослідження продуктивності доцільно виконувати в два етапи. На першому етапі проводиться EMT-моделювання для широкого набору сценаріїв: різні значення P_L та Q_L, параметри droop, віртуальної інерції, віртуального імпедансу і межі струму. На другому етапі вибрані режими перевіряються експериментально. Такий підхід є важливим через те, що результати моделювання можуть недостатньо відображати швидкі процеси реального перетворювача [5].

Узагальнений критерій порівняння може враховувати нормовані відхилення та час установлення, наприклад:

$$J = w_V \delta V_{max} + w_f \delta f_{max} + w_R RoCoF + w_t t_C \quad (7)$$

де w_V, w_f, w_R та w_t – вагові коефіцієнти, що визначаються метою випробування. Такий показник не є універсальним нормативним критерієм, але може бути корисним для внутрішнього порівняння варіантів налаштування. При цьому необхідно окремо контролювати перевищення абсолютних допустимих меж струму, напруги та частоти.

Отже, продуктивність GFM-інвертора під час ненавмисного острівкування є багатофакторною характеристикою. Здатність формувати напругу і частоту є необхідною, але сама по собі не гарантує стабільного переходу. Визначальними є енергетичний резерв, характер навантаження, параметри регуляторів,

обмеження струму та взаємодія з іншими джерелами. Сучасні огляди також підкреслюють необхідність системного підходу до керування, захисту та перевірки GFM-ресурсів [1,4].

Висновки. Ненавмисне острівкування є критичним перехідним режимом, у якому GFM-інвертор повинен підтримувати напругу та частоту локальної мережі після втрати зовнішнього джерела. Основними показниками продуктивності доцільно використовувати максимальні відхилення напруги й частоти, RoCoF, час установлення та максимальний струм. Комплекс цих показників дає змогу коректніше характеризувати динамічні властивості інвертора.

Параметри droop-керування, віртуальної інерції та віртуального імпедансу необхідно вибирати комплексно, оскільки покращення одного показника може супроводжуватися погіршенням іншого. При цьому струмове обмеження є одним із ключових факторів, що визначає фактичну поведінку GFM-інвертора під час значних збурень. Тому його необхідно враховувати вже на етапі розроблення алгоритму керування.

Для достовірного оцінювання продуктивності доцільно поєднувати EMT-моделювання з експериментальними випробуваннями, оскільки спрощені моделі можуть неповністю відтворювати швидкі процеси реального силового перетворювача.

Список використаних джерел

1. Pishbahar H., Blaabjerg F., Saboori H. Emerging grid-forming power converters for renewable energy and storage resources integration – A review. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 60. 103538. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103538.
2. Unruh P., Nuschke M., Strauß P., Welck F. An overview on grid-forming control with high inverter penetration in power systems. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. 2020.
3. Wang Y., et al. Grid-Forming Converters: Control Approaches, Grid-Synchronization, and Future Trends—A Review. IEEE Open Journal of Industry Applications. 2021. Vol. 2. P. 93–109. DOI: 10.1109/OJIA.2021.3074028.
4. Overcurrent Limiting in Grid-Forming Inverters: A Comprehensive Review and Discussion. IEEE Transactions on Power Electronics. 2024. Vol. 39, No. 11. P. 14493–14517. DOI: 10.1109/TPEL.2024.3430316.
5. The Gap between Experiment and Simulation: Grid Forming Inverter Control during Islanding Transition. 2024 9th IEEE Workshop on the Electronic Grid (eGRID). 2024. DOI: 10.1109/eGRID62045.2024.10842947.

Section: Medicine

THE INFLUENCE OF FKBP5 GENE POLYMORPHISMS ON THE DEVELOPMENT OF PTSD

Chaikin Roman Ihorovych
PhD student
Physiology and Pathophysiology Department
Nosov Andrii Mykhailovych
PhD student
Public Health Department
Oleshko Tetiana Bohdanivna
PhD in Medical Science, associate professor
Physiology and Pathophysiology Department
Oleshko Oleksandr Mykolaiovych
PhD in Medical Science, associate professor
Public Health Department
Sumy State University, Ukraine

Post-traumatic stress disorder (PTSD) is a complex mental condition that arises as a result of traumatic factors and is characterised by long-term changes in the functioning of the neuroendocrine systems. One of the key biological mechanisms enabling the body to adapt to stress is the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis. Disruption of its function leads to an imbalance in hormonal regulation and the development of pathological reactions, which underlie the development of PTSD. Current research focuses in particular on the FKBP5 gene, which encodes a co-chaperone protein that regulates the function of the glucocorticoid receptor. This protein determines the sensitivity of cells to cortisol and the effectiveness of negative feedback in the stress response system. Polymorphisms in the FKBP5 gene can alter the protein's expression levels and functional activity, which directly influences an individual's reactivity to stress. It has been established that certain FKBP5 variants, in combination with environmental factors, in particular, early traumatic experiences are associated with an increased risk of developing PTSD and with the severity of its clinical manifestations. This makes research into FKBP5 polymorphisms a promising area of study, which may contribute to a deeper understanding of the pathogenesis of PTSD and the development of personalised approaches to its prevention and treatment.

Materials and methods. To prepare this paper, an analytical review was conducted of current research on the role of genetic factors in the development of post-traumatic stress disorder. The source base comprised publications available in leading international scientific databases (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar). The main focus was on studies investigating polymorphisms of the FKBP5 gene and their influence on the regulation of glucocorticoid receptor function. Separate consideration was given to studies analysing the interaction of genetic variants with

environmental factors, in particular early traumatic experiences, and their contribution to the development of individual vulnerability to PTSD.

Research results and discussion. Several studies have focused on assessing the role of genetic variants of the FKBP5 gene in shaping the clinical presentation of post-traumatic stress disorder, depending on the traumatic events experienced during childhood and adolescence. It has been established that the polymorphisms rs9296158, rs3800373, rs1360780 and rs9470080 are associated with increased expression of the FKBP5 protein. This, in turn, leads to a reduction in the sensitivity of glucocorticoid receptors and a disruption of negative feedback mechanisms in the stress response system. The findings confirm that these genetic variants are associated with the development of PTSD symptoms throughout life among individuals who experienced childhood maltreatment [1]. Other researchers have found that the rs1360780 and rs3800373 polymorphisms of the FKBP5 gene are associated with the development of anxiety, depressive symptoms, anger and dissociative symptoms, which are considered early predictors of mental disorders, in particular PTSD [2]. In the study by Yeo et al., these same genetic variants were investigated in the context of the combined influence of hereditary factors and a history of childhood trauma. The results obtained provided strong evidence that the interaction of these polymorphisms with adverse environmental factors significantly increases the risk of developing PTSD [3]. It was found that the severity of childhood maltreatment experiences correlates closely with reduced cortisol levels among carriers of the CC genotype of the rs1360780 polymorphism, whilst no such correlation is observed in individuals with the T allele. The findings confirm the functional role of the FKBP5 gene in the development of long-term changes in neuroendocrine stress regulation induced by childhood trauma. Such changes may act both as a risk factor and as a potential mechanism of resilience regarding the development of stress-associated mental disorders [4]. According to data obtained during the meta-analysis, it was found that carrying the T allele for the rs1360780 polymorphism of the FKBP5 gene, the C allele at the rs3800373 polymorphism and the T allele at the rs9470080 polymorphism, in combination with traumatic experiences in early childhood, is a significant predictor of the development of depressive disorders and post-traumatic stress disorder [5].

Conclusions. To summarise the findings of this analysis, it can be concluded that polymorphisms in the FKBP5 gene play a significant role in determining individual vulnerability to post-traumatic stress disorder. Their interaction with traumatic experiences in early childhood leads to long-term changes in neuroendocrine stress regulation, which may result in both an increased risk of developing PTSD and patterns of resilience. The findings highlight the importance of integrating genetic and environmental factors in understanding the pathogenesis of PTSD and open up prospects for the development of personalised strategies for its prevention and treatment.

References

1. Young DA, Inslicht SS, Metzler TJ, Neylan TC, Ross JA. (2018). The effects of early trauma and the FKBP5 gene on PTSD and the HPA axis in a clinical sample of

Gulf War veterans. Psychiatry Res.,270:961-966. doi: 10.1016/j.psychres.2018.03.037.
2. Comasco E, Gustafsson PA, Sydsjö G, Agnafors S, Aho N, Svedin CG. (2015). Psychiatric symptoms in adolescents: FKBP5 genotype--early life adversity interaction effects. Eur. Child. Adolesc. Psychiatry.,24(12):1473-83. doi: 10.1007/s00787-015-0768-3.
3. Yeo S, Enoch MA, Gorodetsky E, Akhtar L, Schuebel K, Roy A, Goldman D. (2017). The influence of FKBP5 genotype on expression of FKBP5 and other glucocorticoid-regulated genes, dependent on trauma exposure. Genes Brain Behav. 16(2):223-232. doi: 10.1111/gbb.12342.
4. Buchmann AF, Holz N, Boecker R, Blomeyer D, Rietschel M, Witt SH et al. (2014). Moderating role of FKBP5 genotype in the impact of childhood adversity on cortisol stress response during adulthood. Eur. Neuropsychopharmacol.,24(6):837-45. doi: 10.1016/j.euroneuro.2013.12.001.
5. Wang Q, Shelton RC, Dwivedi Y. (2018). Interaction between early-life stress and FKBP5 gene variants in major depressive disorder and post-traumatic stress disorder: A systematic review and meta-analysis. J. Affect. Disord.,225:422-428. doi: 10.1016/j.jad.2017.08.066.

МІГРЕНЬ: СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПАТОГЕНЕЗ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ЛІКУВАННЯ

Єскін Олександр Ростиславович
к.мед.н., доцент
Кафедра неврології з курсом нейрохірургії
Шейніна Дарина Михайлівна
здобувачка вищої освіти
II факультет медичний
Харківський національний медичний університет
м. Харків, Україна

Актуальність. Мігрень є одним із найпоширеніших первинних головних болів і супроводжується повторними нападами пульсуючого головного болю, нудотою, блюванням, фотофобією і фонофобією. Часті напади можуть призводити до значного обмеження повсякденної активності, зниження працездатності та погіршення якості життя. Особливої уваги потребують пацієнти з високою частотою нападів та хронічною мігренню, у яких зростає потреба у профілактичному лікуванні [1,2].

Сучасні дослідження пов’язують розвиток мігрені переважно з активацією тригеміноваскулярної системи та вивільненням CGRP (Calcitonin Gene-Related

Peptide), а при мігрені з аурою — також із кортикальною поширеною депресією [3,4]. Виявлення цих механізмів сприяло появі нових профілактичних препаратів — моноклональних антитіл до CGRP та його рецептора і гепантів, які розширили можливості лікування порівняно з традиційними β-адреноблокаторами, антиконвульсантами та антидепресантами [4].

Мета дослідження. Дослідити сучасні уявлення про патогенез мігрені та проаналізувати нові можливості її профілактичного лікування з урахуванням механізмів розвитку захворювання, ефективності та переносимості сучасних лікарських засобів.

Матеріали та методи. Дослідження проведено у форматі аналізу сучасної наукової літератури, присвяченої патогенезу, діагностиці та профілактичному лікуванню мігрені. Використано матеріали PubMed, українських медичних видань та наукових публікацій, присвячених сучасним алгоритмам ведення пацієнтів із мігренню [1-5]. Окремо проаналізовано міжнародні рекомендації щодо застосування моноклональних антитіл до CGRP та його рецептора, а також низькомолекулярних антагоністів CGRP — гепантів.

Для оцінки сучасних підходів використано результати рандомізованих клінічних досліджень, систематичних оглядів та рекомендацій міжнародних неврологічних товариств [4,5].

Основна частина. Мігрень належить до первинних головних болів і характеризується повторними нападами тривалістю від 4 до 72 годин. Типовий мігренозний біль має пульсуючий характер, частіше однобічну локалізацію, середню або значну інтенсивність та посилюється під час звичайної фізичної активності. Нудота, блювання, фотофобія та фонофобія є частими супутніми проявами. У частини пацієнтів напад супроводжується аурою, яка проявляється оборотними зоровими, сенсорними або мовними порушеннями [2].

Патогенез мігрені пов’язаний із функціональними змінами центральної та периферичної нервової системи. Провідне значення має активація тригеміноваскулярної системи, волокна якої іннервують тверду мозкову оболонку та внутрішньочерепні судини. Під час активації трійчастих волокон відбувається вивільнення нейропептидів, серед яких найбільш детально вивчений CGRP. Його дія пов’язана з вазодилатацією, передачею ноцицептивного сигналу та розвитком нейрогенних запальних реакцій [3,4].

CGRP бере участь у взаємодії між нервовими закінченнями трійчастого нерва та судинними структурами. Підвищення його активності сприяє підтриманню больового сигналу та сенситизації ноцицептивних шляхів. Експериментальні та клінічні дані щодо участі CGRP у мігрені стали основою для створення специфічних препаратів, які блокують CGRP або його рецептор [4].

При мігрені з аурою додаткове значення має кортикальна поширена депресія. Вона характеризується хвилею функціональних змін нейрональної активності, яка поширюється по корі головного мозку. Поширення цього процесу може пояснювати поступову появу зорових феноменів, парестезій або

мовних порушень, характерних для аури [3]. Активація тригеміноваскулярних структур після кортикальних змін сприяє виникненню головного болю.

Діагностика мігрені переважно ґрунтується на характерних клінічних ознаках та даних анамнезу. Для мігрені без аури характерні повторні напади головного болю тривалістю 4–72 години, які мають типові характеристики та супроводжуються нудотою, блюванням або підвищеною чутливістю до світла та звуків. При мігрені з аурою діагностичне значення мають повністю оборотні неврологічні симптоми, які розвиваються поступово та зазвичай тривають від декількох хвилин до однієї години [2].

Нейровізуалізація не потрібна кожному пацієнту з типовою картиною мігрені. Магнітно-резонансна або комп'ютерна томографія головного мозку розглядаються при наявності неврологічного дефіциту, нетипового характеру головного болю, раптового виникнення симптомів або інших ознак, які можуть свідчити про вторинний головний біль. Для оцінки впливу мігрені на активність пацієнта можуть використовуватися спеціальні опитувальники, зокрема MIDAS [1].

Лікування мігрені включає купірування гострих нападів та профілактичну терапію. Для гострого лікування використовують нестероїдні протизапальні препарати, аналгетики та триптани [1,5]. Проте часте використання препаратів для купірування головного болю може сприяти формуванню медикаментозно-індукованого головного болю. Тому при частих нападах, значному зниженні якості життя або недостатній ефективності гострої терапії необхідно розглядати профілактичне лікування [2].

До традиційних профілактичних препаратів належать β-адреноблокатори, антиконвульсанти та антидепресанти. Пропранолол та метопролол можуть зменшувати частоту мігренозних нападів, тоді як топірамат використовується для профілактики як епізодичної, так і хронічної мігрені. Амітриптилін може бути особливо корисним у пацієнтів, у яких мігрень поєднується з порушеннями сну або симптомами депресії. Водночас застосування цих препаратів може супроводжуватися побічними реакціями, що впливає на прихильність до тривалого лікування [1].

Поява препаратів, спрямованих на CGRP, стала одним із найбільш значущих напрямів розвитку профілактичної терапії мігрені. Моноклональні антитіла еренумаб, фреманезумаб, галканезумаб та ептинезумаб розроблені спеціально для профілактики мігрені. Еренумаб впливає на рецептор CGRP, тоді як фреманезумаб, галканезумаб та ептинезумаб зв'язують сам CGRP [3]. Такий механізм дозволяє впливати на одну з центральних ланок формування мігренозного болю.

Європейська федерація головного болю на основі аналізу рандомізованих досліджень та даних реальної клінічної практики підтвердила ефективність еренумабу, фреманезумабу, галканезумабу та ептинезумабу при епізодичній і хронічній мігрені [4]. Якість доказів для більшості цих препаратів оцінюється від помірної до високої, а тривале застосування характеризується сприятливим профілем безпеки.

Особливістю моноклональних антитіл є тривала дія та можливість застосування з інтервалами від одного місяця залежно від конкретного препарату. Це може підвищувати прихильність пацієнтів до профілактичного лікування порівняно з щоденним прийомом деяких традиційних засобів. Серед небажаних реакцій описують реакції в місці ін'єкції; для окремих препаратів можливі специфічні побічні ефекти, що потребують врахування при виборі терапії [4].

У 2024 році Американське товариство головного болю оновило позицію щодо CGRP-спрямованої терапії. На основі клінічних випробувань та даних реальної практики еренумаб, фреманезумаб, галканезумаб, ептинезумаб, римегепант та атогепант були визначені як засоби, які можуть розглядатися як терапія першої лінії для профілактики мігрені [2]. Автори відзначили значну доказову базу щодо їх ефективності та переносимості, а серйозні побічні явища при застосуванні цих препаратів виникають рідко.

Порівняння сучасних та традиційних препаратів показує, що вибір профілактичної терапії не повинен ґрунтуватися лише на частоті нападів. Необхідно враховувати вік пацієнта, супутню патологію, репродуктивні плани, ризик побічних реакцій, попередню відповідь на лікування та особисті переваги. У 2024 році Міжнародне товариство головного болю опублікувало глобальні рекомендації щодо фармакологічної профілактики мігрені, у яких оцінюються ефективність, безпека та місце різних груп препаратів у сучасній клінічній практиці [5].

Особливої уваги потребує хронічна мігрень, при якій головний біль виникає щонайменше 15 днів на місяць протягом понад трьох місяців, причому ознаки мігрені спостерігаються щонайменше у 8 днів на місяць [3]. У таких пацієнтів профілактичне лікування спрямоване на зменшення кількості днів із головним болем та попередження подальшого погіршення стану. Моноклональні антитіла до CGRP мають доведену ефективність і при хронічній мігрені.

Окремим методом профілактики хронічної мігрені залишається ботулінічний токсин типу А. Його застосовують за спеціальною схемою ін'єкцій у певні групи м'язів голови та шиї. Механізм дії пов’язаний зі зменшенням вивільнення медіаторів із периферичних нервових закінчень та зниженням активності больових шляхів. Цей метод може використовуватися у пацієнтів із хронічною мігренню, особливо при недостатній ефективності інших профілактичних підходів [4].

Важливою складовою профілактики залишається корекція способу життя. Нерегулярний сон, пропуск прийомів їжі, недостатнє споживання рідини, надлишкове вживання кофеїну, стрес та інші індивідуальні фактори можуть провокувати напади. Ведення щоденника головного болю дозволяє визначити зв’язок між певними факторами та виникненням мігрені, а також оцінювати ефективність призначеного лікування [1,2].

Ефективність профілактичного лікування оцінюють за комплексом показників, серед яких кількість мігренозних днів протягом місяця,

інтенсивність і тривалість больових нападів, частота застосування препаратів для їх купірування, а також вплив захворювання на повсякденну активність і якість життя пацієнта. Результати клінічних досліджень свідчать, що чотири моноклональні антитіла, спрямовані на CGRP або його рецептор, ефективніше за плацебо зменшують кількість мігренозних днів у пацієнтів з епізодичною та хронічною мігренню. При цьому істотної різниці в загальній ефективності між окремими препаратами не виявлено [4].

Висновки. Мігрень є складним первинним неврологічним захворюванням, у розвитку якого беруть участь активація тригеміноваскулярної системи, CGRP-залежні механізми, зміни нейрональної збудливості та при мігрені з аурою — кортикальна поширена депресія. Вивчення цих процесів дозволило перейти від переважно симптоматичного лікування до патогенетично орієнтованої профілактичної терапії.

Традиційні профілактичні препарати, зокрема β-адреноблокатори, топірамат та деякі антидепресанти, продовжують використовуватися у клінічній практиці, проте їх застосування може обмежуватися побічними реакціями та недостатньою прихильністю пацієнтів до лікування. Моноклональні антитіла до CGRP або його рецептора та гепанти мають спрямовану дію на механізми мігрені й продемонстрували ефективність при епізодичній та хронічній формі захворювання.

Список використаних джерел

1. Орос М. М., Смоланка В. І., Іваньо Т. В., Орос С. В. Сучасні алгоритми діагностики та лікування мігрені. НейроNEWS. 2017. № 10 (93). С. 26–30. Доступ: https://neuronews.com.ua/ua/archive/2017/10%2893%29/pages-26-30/suchasni-algoritmi-diagnostiki-ta-likuvannya-migreni#gsc.tab=0
2. Орос М. М., Смоланка В. І., Іваньо Т. В., Орос С. В. Сучасні алгоритми діагностики та лікування мігрені. Здоров'я України. 2018. Доступ: https://health-ua.com/article/35297-suchasn-algoritmi-dagnostiki-ta-lkuvannya-mgren
3. Мігрень: переваги патогенетично обґрунтованої терапії. Доступ: https://mozok.ua/migren/article/2570-mgren-perevagi-patogenetichno-obruntovano-terap
4. Nayak SK, Pradhan P, Sahu PK, Parua P, Ghosh S, Jana K, Debnath B, Rath G, Ghosh G, Kar B. Current Trends in Management of Migraine: A Review of Current Practice and Recent Advances. CNS Neurol Disord Drug Targets. 2026;25(5):364-389. doi: 10.2174/0118715273408295250825074429. PMID: 40947701.
5. Mitsikostas DD, Ward TN. Evidence-based symptomatic treatment of migraine. Handb Clin Neurol. 2024;199:203-218. doi: 10.1016/B978-0-12-823357-3.00004-5. PMID: 38307647.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ЛІКУВАННЯ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОФІЛАКТИКИ РАКУ ШЛУНКА

Ходак Андрій Сергійович
доцент
Трач Вікторія Володимирівна
здобувачка вищої освіти
Кафедра онкології
Харківський національний медичний університет
м. Харків, Україна

Вступ. Згідно з даними Міжнародного фонду дослідження раку, за поширеністю випадків хвороби саме онкологічне захворювання шлунка посідає п'яте місце серед злоякісних новоутворень інших органів та лишається тягарем для системи охорони здоров'я [12]. Відповідно до класифікації, з урахуванням анатомічної локалізації патології виділяють проксимальний (кардіальний) та дистальний (некардіальний) типи. Згідно з гістологічними особливостями, розрізняють кишковий рак шлунка, що виникає внаслідок тривалого запалення через ураження слизової бактерією Helicobacter pylori й трапляється частіше, та дифузний вид, пов'язаний з генетичними порушеннями [13]. Кожний тип цього захворювання відрізняється за спектром факторів ризику, епідеміологічними показниками та потребує ретельного аналізу й вибору відповідних профілактичних заходів або тактики ведення пацієнта. Існують різні ефективні підходи терапії, що включають ранню діагностику й медикаментозне лікування, а також методики хірургічного втручання. Через часте маскування симптомів під час початкового прогресування хвороби, рак шлунка може бути виявлений на пізніх стадіях та мати несприятливий прогноз і високий ризик летальності для пацієнта. Проблема пошуку дієвих способів комплексної профілактики, враховуючи фактори ризику зазначеного захворювання, а також оптимізація сучасних методів лікування набуває актуального значення.

Мета роботи. Проаналізувати переваги та недоліки сучасних підходів терапії злоякісних пухлин шлунка. Визначити та систематизувати доцільні стратегії профілактики шлункового канцерогенезу, враховуючи усунення факторів ризику, генетичну схильність пацієнта та раннє виявлення передракових змін.

Матеріали та методи. У ході аналізу було проведено детальний огляд наукових джерел, що охоплюють сучасні дослідження з теми лікування й профілактики онкологічної патології шлунка, за допомогою електронних баз даних, а саме: PubMed, Scopus, Web of Science та Cochrane Library.

Результати та обговорення. Імунотерапія – один із сучасних напрямів лікування раку шлунка, що може значно покращувати показники виживаності пацієнтів та забезпечувати стабілізацію перебігу захворювання при блокаді імунних контрольних точок під час застосування хіміотерапії. Згідно з вже

представленими дослідженнями, у хворих з підвищеною експресією PD-L1 додаткове використання ніволумабу продемонструвало тривалий ефект та сприятливий прогноз [4]. Крім того, подібні результати було отримано і для пембролізумабу шляхом комбінування з трастузумабом та хіміотерапією у пацієнтів із HER2-позитивним канцерогенезом шлунка [6]. Відповідно до зазначених результатів, можна виділити переваги застосування цієї методики, що полягають у забезпеченні тривалішого контролю захворювання навіть при неоперабельних випадках та загальне підвищення відсотка виживаності хворих. Незважаючи на позитивні результати, у дослідженні цієї методики в періопераційному періоді було зафіксовано, що вказані вище лікарські засоби підвищували частоту патологічної відповіді [11]. Через таку неоднорідність реакції у пацієнтів необхідно проводити тривале спостереження для підтвердження переваги імунотерапії та активне впровадження її в практичне застосування.

Таргетна терапія є ще одним новітнім способом лікування онкологічної патології, що дозволяє чинити вплив саме на специфічні молекулярні мішені у пухлинних клітинах. Методика, спрямована на CLDN18.2-позитивних пацієнтів з HER2-негативним раком шлунка через використання золбетуксимабу у поєднанні з хіміотерапією, продемонструвала підвищення як показника життєздатності без прогресування, так і загальної виживаності хворих [7]. Варто зазначити, розвиток напрямку використання біспецифічних антитіл, кон'югатів антитіл з лікарськими препаратами, а також імунотерапії Т-клітинами з химерним антигенним рецептором демонструє сприятливий прогноз та потенційно може розширити можливості тактики ведення певної групи осіб. Незважаючи на переваги таргетної терапії, необхідно враховувати обмеження застосування методики лише у випадках наявності молекулярної мішені. Крім того, гетерогенність пухлин та набута резистентність може вплинути на ефективність лікування, а специфічні токсичні реакції у хворих, необхідність попереднього молекулярно-генетичного тестування та висока вартість створюють низку проблем для поширення такого підходу у клінічній практиці.

З сучасних способів оперативного втручання варто виділити хірургічні методики з використанням сторожової навігації лімфатичних вузлів, що застосовуються у пацієнтів на більш ранніх етапах канцерогенезу та спрямовані на збереження функціональної активності шлунка [8, 5]. Такий підхід дозволяє значно покращити якість життя хворого на відміну від застосування стандартної гастректомії, адже зменшує обсяг операційної травми, а також допомагає запобігти розповсюдженню метастазів. З недоліків необхідно зазначити обмежені показання до застосування цього способу та ускладнену техніку виконання хірургічного втручання, що вимагає забезпечення навчання відповідним навичкам спеціалістів та придбання вдосконаленого обладнання.

Для первинної профілактики онкологічної патології шлунка важливу роль відіграє відмова від шкідливих звичок та модифікація способу життя. Тютюнові вироби містять у складі канцерогенні сполуки, що спричиняють пошкодження ДНК клітин та руйнують слизову оболонку шлунка. За даними останніх

досліджень, ризик розвитку злоякісних новоутворень у курців на 53% вищий у порівнянні з особами, які не палили [10]. Крім того, надмірне вживання алкоголю, що містить етанол, метаболіти й здатний спричиняти оксидативний стрес та запальні процеси, підвищує шанси виникнення канцерогенезу шлунка на 20% [3]. Нераціональне харчування, зокрема вживання надмірної кількості їжі з високим вмістом солі, може руйнувати слизову оболонку та створювати сприятливе середовище для інфікування й колонізації бактерії Helicobacter pylori, що при відсутності ефективної терапії здатна призвести до пухлинного процесу [9]. Варто зазначити, що ожиріння також підвищує ризик появи онкологічної патології через виникнення інсулінорезистентності, порушення апоптозу, як наслідок, тривалих запальних процесів. За даними досліджень, така надмірна вага збільшує ймовірність захворювання на 21,8% [1]. Саме тому збалансоване харчування, а також вживання овочів та фруктів, зокрема з високим вмістом вітаміну С, позитивно впливає на стан органів шлунково-кишкового тракту.

Вторинна профілактика передбачає детальне спостереження за особами високого ризику, враховуючи генетичну схильність, а також вік та стать, з метою раннього виявлення патології та призначення ефективної терапії. Варто зазначити, що у чоловіків похилого віку онкологічне захворювання шлунка виникає частіше, ніж у представниць жіночої статі [14]. Наявність зазначеної хвороби у рідних приблизно у 2,5 рази підвищує ризик появи патології. Особливе значення має також дифузний рак шлунка, адже у деяких пацієнтів через мутації CDH1 на початковому етапі канцерогенез може прогресувати безсимптомно, тому необхідно рекомендувати генетичне консультування та розглядати профілактичні хірургічні втручання у певних випадках [2].

Важливе значення також відіграє третинна профілактика, адже правильно підібрана тактика ведення хворого, корекція нутритивних порушень, а також уважне спостереження на всіх етапах лікування, враховуючи реабілітаційні заходи та підтримувальну терапію, знижує ризик виникнення рецидивів та прогресування онкологічної патології.

Висновки. За результатами метааналізу, серед новітніх методик важливу роль займають імунотерапія, таргетна терапія, а також функціонально-зберігальні хірургічні втручання. Незважаючи на низку переваг цих способів лікування, такі заходи потребують ще тривалого дослідження в майбутньому, адже, зафіксовано як позитивний, так і негативний прогноз для хворих після застосування підходів. Профілактика канцерогенезу шлунка має передбачати як модифікацію способу життя й відмову від шкідливих звичок, так і нагляд за особами високого ризику та своєчасне консультування з метою раннього виявлення захворювання. Також важливо проводити відповідні спостереження й реабілітаційні заходи задля зменшення ймовірності виникнення рецидивів навіть після успішної терапії. Таким чином, принципи профілактики та сучасного лікування раку шлунка, засновані на персоналізованому підході до кожного пацієнта, підвищують можливість позитивного прогнозу. Саме тому необхідно продовжувати дослідження для розробки тактик успішного ведення різних пацієнтів.

Список використаних джерел

1. Azizi N., Zangiabadian M., Seifi G., et al. Gastric cancer risk in association with underweight, overweight, and obesity: a systematic review and meta-analysis. Cancers (Basel). 2023. 15:2778. DOI: 10.3390/cancers15102778.
2. Corso G., Davis J.L., Strong V.E. Points to consider regarding prophylactic total gastrectomy in germline CDH1 variant carriers. J Surg Oncol. 2024. 129:1082–1088. DOI: 10.1002/jso.27603.
3. Deng W., Jin L., Zhuo H., Vasiliou V., Zhang Y. Alcohol consumption and risk of stomach cancer: a meta-analysis. Chem Biol Interact. 2021. 336:109365. DOI: 10.1016/j.cbi.2021.109365.
4. Elimova E., Shitara K., Moehler M.H., et al. Nivolumab (NIVO) + chemotherapy (chemo) vs chemo as first-line (1L) treatment for advanced gastric cancer/gastroesophageal junction cancer/esophageal adenocarcinoma (GC/GEJC/EAC): 4-year follow-up of CheckMate 649. J Clin Oncol. 2024. 42(16_suppl):4040. DOI: 10.1200/JCO.2024.42.16_suppl.4040.
5. Hur H., Lee Y.J., Kim Y.W., et al. Clinical efficacy of laparoscopic sentinel node navigation surgery for stomach preservation in patients with early gastric cancer: 5-year results of the SENORITA trial. Ann Surg. 2024.
6. Janjigian Y.Y., Kawazoe A., Bai Y., et al. 1400O Final overall survival for the phase III, KEYNOTE-811 study of pembrolizumab plus trastuzumab and chemotherapy for HER2+ advanced, unresectable or metastatic G/GEJ adenocarcinoma. Ann Oncol. 2024. 35(Supplement 2):S877–8. DOI: 10.1016/j.annonc.2024.08.1466.
7. Kang Y-K., Shah M., Shitara K., et al. 1438P First-line (1L) zolbetuximab + chemotherapy in patients (pts) with claudin 18. 2 (CLDN18.2) +, HER2-, locally advanced (LA) unresectable or metastatic gastric or gastroesophageal junction (mG/GEJ) adenocarcinoma: A pooled final analysis of SPOTLIGHT + GLOW. Ann Oncol. 2024. 35(Supplement 2):S895. DOI: 10.1016/j.annonc.2024.08.1504.
8. Kim Y.W., Min J.S., Yoon H.M., et al. Laparoscopic sentinel node navigation surgery for stomach preservation in patients with early gastric cancer: A randomized clinical trial. J Clin Oncol. 2022. 40:2342–51. DOI: 10.1200/JCO.21.02242.
9. Morais S., Costa A., Albuquerque G., et al. Salt intake and gastric cancer: a pooled analysis within the stomach cancer pooling (StoP) project. Cancer Causes Control. 2022. 33:779–791. DOI: 10.1007/s10552-022-01565-y.
10. Rota M., Possenti I., Valsassina V., et al. Dose-response association between cigarette smoking and gastric cancer risk: a systematic review and meta-analysis. Gastric Cancer. 2024. 27:197–209. DOI: 10.1007/s10120-023-01459-1.
11. Shitara K., Bang Y.J., Wyrwicz L.S., et al. Neoadjuvant/adjuvant pembrolizumab (pembro) + chemotherapy (chemo) vs placebo (pbo)+ chemo for gastric/gastroesophageal junction (G/GEJ) adenocarcinoma: Major pathologic response (mPR) in KEYNOTE-585. J Clin Oncol. 2024. 42(16_suppl):4073. DOI: 10.1200/JCO.2024.42.16_suppl.4073.

12. Stomach cancer statistics. URL: https://www.wcrf.org/preventing-cancer/cancer-statistics/stomach-cancer-statistics/ (Last accessed: 21.09.2026).
13. Thrift A.P., Wenker T.N., El-Serag H.B. Global burden of gastric cancer: epidemiological trends, risk factors, screening and prevention. Nat Rev Clin Oncol. 2023. 20:338–349. DOI: 10.1038/s41571-023-00747-0.
14. Yang W.J., Zhao H.P., Yu Y., et al. Updates on global epidemiology, risk and prognostic factors of gastric cancer. World J Gastroenterol. 2023. 29:2452–2468. DOI: 10.3748/wjg.v29.i16.2452.

ВАКУУМНА ТЕРАПІЯ РАН У СУЧАСНІЙ ХІРУРГІЇ

Ставицька Олександра Федорівна
здобувачка вищої освіти
Шаніна Вікторія Віталіївна
здобувачка вищої освіти
Гольцев Кирило Анатолійович
к.мед.н., асистент
Кафедра хірургії №2
Харківський національний медичний університет, Україна

Актуальність. Лікування ран різного ступеня тяжкості на сьогоднішній день є тією темою, яка буде актуальною ще багато років. Через затримку загоєння можуть бути різні наслідки, наприклад, біль, інфекційні ускладнення, тривале лікування тощо. У зв'язку з цим метод вакуумної терапії ран набув значної поширеності та довів свою ефективність у комплексному лікуванні різних типів ран.

Мета дослідження. Аналіз наукової літератури на тему вакуумної терапії ран у сучасній хірургії.

Матеріали і методи дослідження. Огляд і аналіз наукової літератури в базі PubMed.

Результати дослідження. Вакуумна терапія ран – це альтернативний метод оптимізації умов для загоєння ран, що передбачає головним чином створення контрольованого негативного тиску в ділянці ранової поверхні за допомогою системи [1]. Стандартна терапія NPWT (терапія ран негативним тиском) включає в себе декілька важливих компонентів, а саме пінополіуретанову пов'язку, яка розміщується в рані та покривається напівоклюзійною герметизуючою плівкою. Через спеціальний отвір у плівці встановлюється дренажна трубка, яка буде з'єднувати пов'язку з вакуумним насосом. Насос вже забезпечує контрольоване створення негативного тиску, завдяки чому відбувається дренування рани та відведення ранового ексудату до збірного контейнера. Рівень і режим негативного тиску підбирають відповідно до характеру рани, її глибини, кількості ексудату та загального стану пацієнта [2].

Основними ефектами NPWT є створення вологого середовища для загоєння рани, дренування ексудату, зменшення набряку тканин та скорочення країв рани. Негативний тиск також забезпечує механічну стимуляцію ранового ложа та впливає на кровотік у тканинах, який оточує рану. Механічна дія NPWT на ранове ложе впливає на цитоскелет та стимулює клітинні реакції, які пов'язані з формуванням грануляційної тканини, при цьому локальні зміни кровотоку покращують умови постачання кисню та поживних речовин. Тобто у результаті утворюється грануляційна тканина, яка буде брати участь у процесі загоєння та поступовому закритті ранового дефекту [3].

NPWT може застосовуватися для лікування складних ран різного походження. Основними показаннями є гострі та хронічні рани, пролежні, травматичні та післяопераційні рани, опіки, некротичні, діабетичні та венозні виразки. Також цей метод використовується при шкірних трансплантатах, відкритому животі, для профілактики ускладнень закритих хірургічних розрізів та для підготовки складних ран до вторинного шва, шкірної пластики або інших реконструктивних втручань [4].

Попри ефективність методу, NPWT має деякі обмеження та фактори ризику, які треба враховувати перед застосуванням. До основних протипоказань можна віднести наявність некротичних тканин зі струпом, нелікованого остеомієліту, оголених внутрішніх органів або кровоносних судин, злоякісних новоутворень у межах ранового дефекту тощо. Також треба бути обережними з пацієнтами, у яких є високий ризик кровотечі чи крововиливу [5].

Незважаючи на широке використання та позитивний вплив терапії ран негативним тиском на процес загоєння, використання цього методу все ж таки може призводити і до певних ускладнень. За даними літератури, є можливість розвитку таких ускладнень, як кровотеча, інфекційні ускладнення та виникнення больового синдрому. Навіть за умови того, що такі ускладнення зазвичай є нечастими, їх розвиток потребує належного контролю . Окрім вищеназваних ускладнень, тривале застосування терапії ран негативним тиском може негативно впливати і на загальний стан пацієнта. Серед можливих наслідків тривалого проведення терапії можна виділити погіршення якості життя, збільшення вираженості тривожності та ризик розвитку нутритивної недостатності [6].

Висновок. Вакуумна терапія ран – це сучасний метод локального лікування, який забезпечує контроль ранового ексудату, зменшення набряку тканин, механічну стимуляцію ранового ложа та створення сприятливих умов для формування грануляційної тканини. NPWT можна застосовувати при різних ранах, а також для підготовки ранового дефекту до подальшого пластичного або реконструктивного закриття. Незважаючи на можливість розвитку деяких ускладнень (кровотеча, інфекції тощо), за умови правильного підбору пацієнтів та дотримання техніки проведення NPWT цей метод залишається одним з важливих компонентів сучасного комплексного лікування ран різної складності.

Список використаних джерел

1. Daskalaki A, Xenaki S, Venianaki M, Topalidou A, Athanasakis E, Chrysos E, Chalkiadakis G. Well-promising outcomes with vacuum-assisted closure in an infected wound following laparotomy: A case report. Ann Med Surg (Lond). 2016 Aug 2;10:73-6. doi: 10.1016/j.amsu.2016.07.027. PMID: 27570621; PMCID: PMC4990566.
2. Wolvos TA. Negative pressure wound therapy with instillation: the current state of the art. Surg Technol Int. 2014 Mar;24:53-62. PMID: 24574014.
3. Borgquist O, Ingemansson R, Malmsjö M. Individualizing the use of negative pressure wound therapy for optimal wound healing: a focused review of the literature. Ostomy Wound Manage. 2011 Apr;57(4):44-54. PMID: 21512192.
4. Lima RVKS, Coltro PS, Farina JA Júnior. Negative pressure therapy for the treatment of complex wounds. Rev Col Bras Cir. 2017 Jan-Feb;44(1):81-93. English, Portuguese. doi: 10.1590/0100-69912017001001. PMID: 28489215.
5. Negative Pressure Wound Therapy for Managing Diabetic Foot Ulcers: A Review of the Clinical Effectiveness, Cost-effectiveness, and Guidelines [Internet]. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2014 Aug 28. PMID: 25411671.
6. Li Z, Yu A. Complications of negative pressure wound therapy: a mini review. Wound Repair Regen. 2014 Jul-Aug;22(4):457-61. doi: 10.1111/wrr.12190. PMID: 24852446

АНТИОКСИДАНТНІ ФЕРМЕНТИ СЛИНИ ПРИ ПАТОЛОГІЯХ СЛИЗОВОЇ ОБОЛОНКИ РОТОВОЇ ПОРОЖНИНИ

Пилипенко Олена
PhD, доцентка
Кубрак Дмитро
здобувач вищої освіти
Кафедра теоретичних дисциплін
Донецький національний медичний університет, Україна

Слизова оболонка порожнини рота щодня піддається впливу від багатьох різноманітних внутрішніх і зовнішніх факторів: бактерій, гарячої чи холодної їжі, хімічних речовин тощо. Головним біологічним, хімічним та механічним захисником ротової порожнини є слина. Крім високої мінералізуючої здатності, слина володіє неспецифічними захисними властивостями. Одна з них це антиоксидантна властивість, за рахунок присутності в слині, ферментативних (супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза) і неферментативних (альбумін, глутатіон, лактоферин, вітаміни та сечова кислота) антиоксидантів. Ротова порожнина та слина можуть формувати першу лінію захисту від оксидативного стресу, забезпечуючи тим самим захисну дію проти мікроорганізмів, токсинів та окисників.

Ферментативна ланка антиоксидантного захисту ротової рідини представлена великою кількістю взаємопов'язаних між собою ензимів, що забезпечують детоксикацію активних форм кисню.

Супероксиддисмутаза (СОД) є дуже потужним антиоксидантом через його ферментативну здатність нейтралізувати вільні радикали. Це дозволяє боротися з окислювальним стресом і зменшує запалення.

Каталаза є ключовим ферментом антиоксидантного захисту організму.

Її основна функція – нейтралізація перекису водню (H_2O_2). Цей фермент каталізує перетворення перекису водню на воду та молекулярний кисень. Тому каталаза здатна затримувати або інгібувати процеси окиснення.

Глутатіонпероксидаза — захищає клітини організму від окисного пошкодження. Він каталізує відновлення перекисів водню та органічних перекисів до нетоксичних сполук за участю відновленого глутатіону.

Цей фермент відіграє ключову роль у підтримці клітинного балансу та запобіганні руйнуванню мембран, білків і ДНК під дією вільних радикалів.

Пероксидази ротової порожнини є частиною вродженого неімунного захисного механізму слини. У ротовій порожнині, в присутності перекису водню, ці ферменти каталізують окиснення тіоціанату, псевдогалогеніду, до гіпотіоціаніту — потужного окиснювача, здатного пригнічувати численні види бактерій, мікоплазм, грибів та вірусів.

Оксидативний стрес є одним із ключових патогенетичних механізмів розвитку, захворювань слизової оболонки порожнини рота . Він виникає внаслідок дисбалансу між надмірним утворенням активних форм кисню і азоту та здатністю ендогенної антиоксидантної системи їх нейтралізувати. Одним із прикладів порушення цього балансу є виразковий стоматит. Через масивне запалення у ротовій порожнині клітини імунітету виділяють надмірну кількість вільних радикалів, що запускає потужний оксидативний стрес. Захисний потенціал пероксидаз ротової порожнини та системи відновленого глутатіону швидко виснажується. В умовах такого дефіциту ферменти більше не можуть ефективно перетворювати токсичний перекис водню на нетоксичні сполуки. Згодом це призводить до ферментативного розпаду білків та приєднання вторинної інфекції, формуванню виразок тощо.

Дослідження активності ферментів антиоксидантного захисту у слині має високу діагностичну цінність не тільки при виразковому стоматиті, а і при багатьох інших патологіях ротової порожнини (червоний плескатий лишай, лейкоплакія та гінгівіт). Моніторинг рівнів супероксиддисмутази, каталази та пероксидаз дозволяє оцінити ступінь пошкодження слизової оболонки на ранніх етапах, ще до масштабного клінічного прояву виразок та інших симптомів запалення.

Таким чином, розгортання оксидативного стресу та виснаження ферментативної ланки антиоксидантного захисту слини є ключовим фактором руйнування тканин при різних патологіях на слизовій оболонці ротової порожнини.

Список використаних джерел

1. Čižmárová, B., Tomečková, V., Hubková, B., & Hurajtová, A. (2022). Salivary redox homeostasis in human health and disease. International Journal of Molecular Sciences, 23(17), Article 10076. https://doi.org/10.3390/ijms231710076
2. Courtois, P. (2021). Oral peroxidases: From antimicrobial agents to ecological actors. Molecular Medicine Reports, 24(1), Article 500. https://doi.org/10.3892/mmr.2021.12139
3. Kaur, J., & Politis, C. (2019). Oxidative stress and oral mucosal diseases: An overview. Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents, 33(3), 709–717. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6506298/

ВПЛИВ ЦИРКАДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ФІЗИЧНИЙ РОЗВИТОК ТА ТЕРМІНИ ГОСПІТАЛІЗАЦІЇ НЕДОНОШЕНИХ НЕМОВЛЯТ У ВІДДІЛЕННЯХ ІНТЕНСИВНОЇ ТЕРАПІЇ

Чуприна Марія Валеріївна
здобувач вищої освіти
Маліч Тетяна Сергіївна
к.мед.н., доцент
Кафедра педіатрії №1 та неонатології
Харківський національний медичний університет, Україна

Вступ. У сучасній неонатології передчасне народження є найбільш актуальною проблемою. Недоношені немовлята особлива, вразлива категорія пацієнтів. Незрілість їхніх органних систем потребує постійного медичного спостереження та ряду процедур інтенсивної терапії (ІТ). З кожним роком кількість передчасно народжених дітей не зменшується у всьому світі.[1] Фізіологічні процеси адаптації у таких немовлят проходять складніше. Крім того, передчасне народження пов'язують з порушенням нейророзвитку в майбутньому. [2] Особливе значення має створення комфортного середовища для таких маленьких пацієнтів. Передчасно народжені немовлята переходять із відносно стабільного внутрішньоутробного середовища в умови, де присутнє штучне освітлення, шум, часті медичні маніпуляції тощо. [3] При цьому їхні циркадні ритми до кінця ще не сформовані. Одним із можливих умов оптимізації стану таких немовлят є використання циркадного освітлення. Водночас результати окремих досліджень є неоднорідними, тому потребують узагальнення.

Мета роботи. Дослідити вплив циркадного освітлення у передчасно народжених дітей в умовах відділень інтенсивної терапії (ВІТ) на стан адаптації, фізичний розвиток та терміни перебування.

Матеріали та методи. Даний огляд ґрунтується на аналізі літературних джерел та медичної бази даних PubMed.

Результати та обговорення. Циркадне освітлення- це система штучного світла, яка підлаштовується під біологічні ритми дитини. У немовлят у перші місяці життя до кінця ще не сформовані циркадні ритми, тобто вони не вміють розрізняти день та ніч. У передчасно народжених цей процес ще більш незрілий. Їхнє перебування у ВІТ додатково змінює звичний для організму світловий режим. Одним із напрямків удосконалення умов виходжування таких малюків є використання циклічного освітлення. Ефективність цього підходу вивчалась в низці клінічних досліджень.

За даними клінічних досліджень Мануеля Санчеса та співаторів учасниками дослідження стали 294 передчасно народжених малюків. Новонароджених розподілили на групи. Експериментальна група (n = 150) з умовами циркадного освітлення: світло з 07:00 до 19:00 та темрява з 19:00 до 07:00. Контрольна група (n = 144) перебувала в умовах нормального кімнатного освітлення протягом 24 годин. Основним результатом було збільшення ваги у новонароджених експериментальної групи. Додатково оцінювали переносимість ентерального харчування. Автори виявили швидший набір ваги та кращу переносимість ентерального харчування, у дітей які перебували на циркадному освітленні. Було відмічено значне скорочення термінів перебування у ВІТ новонароджених з експериментальної групи в порівнянні з групою контролю. [3]

Нами був проаналізований метааналіз за 2025 рік з включенням 10 досліджень з приводу використання циркадного освітлення у передчасно народжених. Застосування режиму «день-ніч» продемонструвало скорочення тривалості перебування немовлят у стаціонарі при використанні циркадного освітлення в порівнянні з приглушеним світлом.[4]

Цикл «день-ніч» покращує показники здоров'я передчасно народжених дітей, проте найкращий час для початку циклічного світла залишається незрозумілим. Науковці з багатьох країн пропонують широку категорію заходів, які направлені на мінімізацію стресових впливів навколишнього середовища. Заходи, які сприяють покращенню стану дитини є використання світлозахисних жалюзів на вікнах у денний час, використання накидок-екранів на кювези та реанімаційні столи, індивідуальних освітлювальних приладів біля кювеза з дитиною. В одне з таких досліджень було включено немовлят народжених у віці ≤28 тижнів гестації (n=121). Випадковим чином передчасно народжених розподіляли на групи з раннім циклічним світлом, починаючи з 28 тижня гестації і з пізнім циклічним світлом, починаючи з 36 тижня. Денне світло становило 200-600 люкс, а нічне - 5-30 люкс. Діти, яким циклічне освітлення починали раніше виписували з стаціонару на 5,5 діб раніше.[5]

Висновки. Отже, результати окремих рандомізованих досліджень свідчать про позитивний вплив циклічного освітлення на фізіологічні показники здоров’я немовляти. Застосування циклу «день-ніч» може сприяти кращому набору маси тіла, пришвидшувати перехід на ентеральне харчування та скорочувати перебування немовляти у стаціонарі. Створення фізіологічного світлового режиму є перспективним напрямком у виходжуванні передчасно народжених немовлят.

Список використаних джерел

1. Ohuma EO, Moller A-B, Bradley E, et al. (2023). National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. The Lancet. 7;402(10409):1261-1271
DOI: 10.1016/S0140-6736(23)00878-4
2. Sultana, S., Horiuchi, S., et al. (2025). The prevalence of long-term neurodevelopmental outcomes in preterm-born children in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis of developmental outcomes in 72,974 preterm-born children. Journal of Global Health, 4:15:04106
DOI: 10.7189/jogh.15.04106
3. Sanchez-Sanchez M, Garcia TL, et al. Effect of a light-darkness cycle on the body weight gain of preterm infants admitted to the neonatal intensive care unit. Scientific Reports. 2022;12:17569.
DOI: 10.1038/s41598-022-22533-1
4. Ho C-L. Effects on Weight Gain and Length of Hospital Stay of Day and Night-Cycled Light Exposure in Premature Infants: A Meta-Analysis. The Journal of Nursing Research. 2025;33(5):e416.
DOI: 10.1097/jnr.0000000000000700
5. Brandon, D. H., Silva, S. G. et al. (2017). Timing for the introduction of cycled light for extremely preterm infants: A randomized controlled trial. Research in Nursing & Health, 40(4), 294–310.
DOI: 10.1002/nur.21797

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.011.246-250

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ХИРУРГИЧЕСКОМУ ЛЕЧЕНИЮ КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА: МИНИ ИНВАЗИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Дауренов Улыкбек Ергешбаевич
ГКБ №7, г. Алматы, Казахстан
Нурбай Олжас Мейрамбекулы
КазНМУ им. С.Д.Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан
Ахметов Динмухаммед Нурланулы
КРМУ, г. Алматы, Казахстан
Турекулова Аида Ерланкызы
КазНМУ им. С.Д.Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Колоректальный рак остаётся одной из наиболее значимых проблем современной онкологии, при этом хирургическая резекция сохраняет центральное место в лечении локализованных и местно-распространённых форм заболевания. За последние десятилетия хирургическая тактика существенно изменилась благодаря внедрению лапароскопических и робот-ассистированных технологий, совершенствованию принципов мезоколической и мезоректальной диссекции, а также развитию мультимодального лечения. Цель настоящего обзора - обобщить современные данные о минимально инвазивных методах хирургического лечения колоректального рака и оценить их влияние на периоперационные и долгосрочные онкологические результаты. Анализ литературы показывает, что лапароскопическая хирургия при раке ободочной кишки обеспечивает сопоставимую с открытой операцией онкологическую эффективность при более благоприятном раннем восстановлении. Робот-ассистированная хирургия предоставляет технические преимущества в условиях ограниченного малого таза, однако убедительного превосходства по основным онкологическим исходам над лапароскопией пока не продемонстрировано. Новейшие рандомизированные данные подтверждают не меньшую эффективность лапароскопического подхода при низком раке прямой кишки. Перспективным направлением остаётся индивидуализация выбора доступа с учётом локализации опухоли, стадии, анатомических особенностей пациента и опыта хирургической команды.

Ключевые слова: колоректальный рак; онкохирургия; лапароскопическая хирургия; робот-ассистированная хирургия; рак ободочной кишки; рак прямой кишки; тотальная мезоректальная эксцизия; минимально инвазивная хирургия; онкологические результаты; выживаемость.

Введение

Колоректальный рак относится к наиболее распространённым злокачественным новообразованиям желудочно-кишечного тракта и характеризуется значительной клинической и биологической неоднородностью. Хирургическое удаление первичной опухоли с адекватной регионарной лимфодиссекцией остаётся основным методом радикального лечения пациентов без нерезектабельного отдалённого распространения. При этом качество операции определяется не только отсутствием видимой опухолевой ткани, но и соблюдением анатомических принципов диссекции, достижением отрицательных краёв резекции и адекватным удалением лимфатического бассейна [1,2].

Переход от открытых вмешательств к лапароскопической хирургии стал одним из наиболее заметных изменений в колоректальной хирургии. Первоначальные опасения были связаны с возможным повышением риска неполной резекции, повреждения опухоли и ухудшением отдалённых результатов. Однако накопленные рандомизированные исследования и последующие метаанализы показали, что при соблюдении онкологических принципов лапароскопическая резекция обеспечивает долгосрочные результаты, сопоставимые с открытой операцией [3-5]. Особое место занимает хирургия рака прямой кишки. Ограниченное пространство малого таза, близость тазовых нервов и сфинктерного аппарата, необходимость качественной тотальной мезоректальной эксцизии и контроля циркулярного края резекции делают операцию технически сложной. Именно поэтому робот-ассистированная хирургия стала рассматриваться как способ преодоления части технических ограничений традиционной лапароскопии [6,7].

Цель настоящего обзора - рассмотреть современные минимально инвазивные технологии в хирургии КРР, сопоставить их с открытыми вмешательствами и проанализировать влияние хирургического доступа на качество резекции, послеоперационное восстановление, частоту осложнений, рецидивирование и выживаемость.

Основная часть

Независимо от выбранного хирургического доступа основным критерием эффективности операции остаётся онкологическая радикальность. Для рака ободочной кишки она включает удаление опухоли единым блоком с соответствующим сегментом кишки и регионарными лимфатическими структурами. В современной хирургии дополнительно обсуждается концепция complete mesocolic excision (CME) с центральной перевязкой сосудов, направленная на сохранение целостности мезоколона и удаление лимфатических узлов вдоль центральных сосудистых ветвей. Данные обзоров показывают, что данная техника потенциально улучшает качество препарата и может быть связана с благоприятными онкологическими показателями, однако её выполнение требует высокой анатомической подготовки и стандартизации [8,9].

При раке прямой кишки ключевым элементом радикальной операции является тотальная мезоректальная эксцизия (ТМЕ), особенно при опухолях средней и нижней трети. Качество мезоректального препарата, состояние циркулярного и дистального краёв резекции непосредственно связаны с риском местного рецидива и отдалёнными исходами. Поэтому минимально инвазивный доступ не должен рассматриваться как самоцель: он приемлем только в том случае, если обеспечивает выполнение тех же онкологических принципов, что и открытая операция [6,10].

Особого внимания заслуживают пациенты с местно-распространёнными опухолями. При Т4-раке анатомические границы опухоли могут быть неясными, а для достижения R0-резекции иногда требуется удаление соседнего органа единым блоком. Метаанализы показывают, что у тщательно отобранных пациентов лапароскопический подход может обеспечивать сопоставимые R0-резекции, количество удалённых лимфатических узлов и отдалённые онкологические результаты, одновременно сохраняя преимущества минимально инвазивного доступа [11,12].

В исследовании COREAN лапароскопическая операция после неоадъювантной химиолучевой терапии сопровождалась более быстрым восстановлением кишечной функции и меньшей потребностью в анальгетиках, при сопоставимом качестве онкологической резекции. В последующем анализе трёхлетней выживаемости различия в безрецидивной выживаемости не свидетельствовали о клинически значимом преимуществе открытого доступа [6,13].

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных хирургических подходов при колоректальном раке

Подход	**Основные преимущества**	**Ограничения**	**Онкологическая оценка**	**Наиболее характерное применение**
Открытая хирургия	Широкая экспозиция, прямой доступ, удобна при сложной инвазии	Большая операционная травма, более длительное восстановление	Эталонный вариант для сравнения; позволяет выполнять R0-резекцию при сложных случаях	Т4, массивная инвазия, невозможность безопасной минимально инвазивной диссекции
Лапароскопическая хирургия	Меньшая травма, раннее восстановление, меньшая послеоперационная боль	Техническая сложность, зависимость от опыта, ограниченная манипуляция в узком тазу	Сопоставимые долгосрочные результаты при соблюдении онкологических принципов	Большинство резектабельных опухолей ободочной кишки; отобранные опухоли прямой кишки
Робот-ассистированная хирургия	3D-визуализация, артикулированные инструменты, удобство тазовой диссекции	Высокая стоимость, потребность в специализированной команде	Достоверного универсального превосходства над лапароскопией не установлено	Сложные операции на прямой кишке, особенно в малом тазу

Выбор между открытой, лапароскопической и робот-ассистированной операцией должен быть индивидуализирован. Ключевыми факторами являются локализация и распространённость опухоли, необходимость комбинированной резекции, анатомические особенности таза, индекс массы тела, наличие спаечного процесса, предшествующие операции, общее состояние пациента и технический опыт хирургической команды [13].

Заключение

Современная хирургия колоректального рака развивается в направлении уменьшения хирургической травмы при одновременном сохранении или улучшении онкологической эффективности. Лапароскопический доступ имеет прочную доказательную базу и в большинстве подходящих случаев позволяет сочетать полноценную онкологическую резекцию с преимуществами ускоренного послеоперационного восстановления. В хирургии прямой кишки требования к качеству TME и состоянию краёв резекции остаются определяющими, поэтому минимально инвазивная технология должна применяться только при возможности обеспечить полноценную радикальную операцию. Роботическая хирургия является перспективным дополнением, особенно при технически сложных тазовых вмешательствах, однако её место должно определяться объективными клиническими результатами и ресурсами медицинского учреждения. В целом современные данные поддерживают не противопоставление открытой и минимально инвазивной хирургии, а индивидуализированный выбор доступа в рамках мультидисциплинарной стратегии лечения КРР.

Список использованных источников

1. Dekker E, Tanis PJ, Vleugels JLA, Kasi PM, Wallace MB. Colorectal cancer. Lancet. 2019;394(10207):1467-1480. doi:10.1016/S0140-6736(19)32319-0.
2. Vogel JD, Felder SI, Bhama AR, et al. The American Society of Colon and Rectal Surgeons Clinical Practice Guidelines for the Management of Colon Cancer. Dis Colon Rectum. 2022;65(2):148-177. doi:10.1097/DCR.0000000000002323.
3. Wang CL, Qu G, Xu HW. The short- and long-term outcomes of laparoscopic versus open surgery for colorectal cancer: a meta-analysis. Int J Colorectal Dis. 2014;29(3):309-320. doi:10.1007/s00384-013-1827-1.
4. Theophilus M, Platell C, Spilsbury K. Long-term survival following laparoscopic and open colectomy for colon cancer: a meta-analysis of randomized controlled trials. Colorectal Dis. 2014;16(3):O75-O81. doi:10.1111/codi.12483.
5. Buunen M, Veldkamp R, Hop WCJ, et al. Survival after laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: long-term outcome of a randomised clinical trial. Lancet Oncol. 2009;10(1):44-52. doi:10.1016/S1470-2045(08)70310-3.
6. Jeong SY, Park JW, Nam BH, et al. Open versus laparoscopic surgery for mid-rectal or low-rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy (COREAN trial): survival outcomes of an open-label, non-inferiority, randomised controlled trial. Lancet Oncol. 2014;15(7):767-774. doi:10.1016/S1470-2045(14)70205-0.

7. Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, et al. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer: the ROLARR randomized clinical trial. JAMA. 2017;318(16):1569-1580. doi:10.1001/jama.2017.7219.
8. Kim NK, Kim YW, Han YD, et al. Complete mesocolic excision and central vascular ligation for colon cancer: principle, anatomy, surgical technique, and outcomes. Surg Oncol. 2016;25(3):252-262. doi:10.1016/j.suronc.2016.05.009.
9. Kitaguchi D, Forgione A, Innocenzi C, et al. The role of complete mesocolic excision with central vascular ligation in colon cancer surgery: a systematic review and meta-analysis of prospective trials. Eur J Surg Oncol. 2026;52(4):111516. doi:10.1016/j.ejso.2026.111516.
10. Fleshman J, Branda M, Sargent DJ, et al. Effect of laparoscopic-assisted resection vs open resection of stage II or III rectal cancer on pathologic outcomes: the ACOSOG Z6051 randomized clinical trial. JAMA. 2015;314(13):1346-1355. doi:10.1001/jama.2015.10529.
11. Feinberg AE, Chesney TR, Acuna SA, Sammour T, Quereshy FA. Oncologic outcomes following laparoscopic versus open resection of pT4 colon cancer: a systematic review and meta-analysis. Dis Colon Rectum. 2017;60(1):116-125. doi:10.1097/DCR.0000000000000641.
12. Liu ZH, Wang N, Wang FQ, et al. Oncological outcomes of laparoscopic versus open surgery in pT4 colon cancers: a systematic review and meta-analysis. Int J Surg. 2018;56:221-233. doi:10.1016/j.ijsu.2018.06.032.
13. Kang SB, Park JW, Jeong SY, et al. Open versus laparoscopic surgery for mid or low rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy (COREAN trial): short-term outcomes of an open-label randomised controlled trial. Lancet Oncol. 2010;11(7):637-645. doi:10.1016/S1470-2045(10)70131-5.

АНТИМИКРОБНАЯ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ УГРОЗА: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФАКТОРА И СТРАТЕГИИ КОНТРОЛЯ

Маджидов Шахрух Атабекович
студент 2-курса
Набиханова Муштарийбегим Максуд кизи
студент 2-курса
Факультет лечебного дела
Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент

Аннотация: Антимикробная резистентность (АМР) является одной из наиболее значимых глобальных угроз общественному здравоохранению, поскольку снижает эффективность противомикробной терапии, увеличивает риск осложнений и летальных исходов и ограничивает возможности современной медицины. По данным Всемирной организации здравоохранения, в

2023 году примерно каждая шестая лабораторно подтверждённая бактериальная инфекция, вызывающая распространённые заболевания, была резистентна к антибиотикам. В период с 2018 по 2023 год повышение устойчивости отмечалось более чем в 40% изученных комбинаций «возбудитель–антибиотик», при среднем ежегодном увеличении показателей резистентности на 5–15%. Особую эпидемиологическую значимость приобретает распространение устойчивых грамотрицательных микроорганизмов, включая Escherichia coli и Klebsiella pneumoniae, что сопровождается сокращением доступных вариантов эффективной терапии. Целью настоящей работы является анализ современных эпидемиологических тенденций АМР, основных факторов её формирования и распространения, а также современных стратегий профилактики и контроля.

В работе представлен аналитический обзор современных научных данных и материалов международных организаций, посвящённых распространению АМР, рациональному применению антимикробных препаратов, эпидемиологическому надзору и инфекционному контролю. Особое внимание уделено роли избыточного и нерационального применения антибиотиков, недостаточности диагностических возможностей, распространению резистентных возбудителей в медицинских организациях и окружающей среде, а также межсекторальному характеру проблемы. Современный контроль АМР требует комплексного подхода, включающего усиление национальных и международных систем эпидемиологического надзора, повышение качества лабораторной диагностики, внедрение программ рационального применения антимикробных препаратов, профилактику инфекций и развитие межсекторального взаимодействия в рамках концепции «Единое здоровье» (One Health). Эффективная реализация указанных направлений имеет принципиальное значение для сохранения эффективности существующих противомикробных препаратов и обеспечения инфекционной безопасности населения.

Ключевые слова: антимикробная резистентность; антибиотикорезистентность; эпидемиология; инфекционные болезни; устойчивость микроорганизмов; антибиотики; эпидемиологический надзор; инфекционный контроль; рациональная антибиотикотерапия; One Health; общественное здравоохранение; мультирезистентные микроорганизмы; профилактика инфекций; глобальное здоровье.

Введение: Антимикробная резистентность (АМР) представляет собой одно из наиболее значимых современных вызовов для глобального здравоохранения, поскольку устойчивость микроорганизмов к противомикробным препаратам приводит к снижению эффективности лечения инфекционных заболеваний, увеличению продолжительности болезни, частоты осложнений и риска летального исхода. АМР развивается как естественный эволюционный процесс, однако её распространение существенно ускоряется вследствие нерационального и избыточного применения антимикробных препаратов, недостаточного инфекционного контроля, ограниченного доступа к качественной диагностике и лекарственным средствам. По данным Всемирной

организации здравоохранения, в 2023 году приблизительно каждая шестая лабораторно подтверждённая бактериальная инфекция в мире была устойчива к антибиотикам, а в период 2018–2023 гг. увеличение резистентности наблюдалось более чем в 40% исследованных комбинаций «возбудитель–антибиотик». Средний ежегодный прирост резистентности по отдельным комбинациям составлял 5–15%, что свидетельствует о продолжающемся ухудшении глобальной эпидемиологической ситуации [1].

Особую актуальность проблема АМР приобретает в условиях широкого распространения устойчивых бактериальных возбудителей, роста интенсивности медицинских вмешательств и глобальной мобильности населения. Распространение резистентных микроорганизмов происходит не только в медицинских организациях, но и в сообществах, среди животных, через пищевые цепи и объекты окружающей среды, что определяет необходимость комплексного межсекторального подхода. В 2026 году Всемирная ассамблея здравоохранения приняла обновлённый Глобальный план действий по борьбе с антимикробной резистентностью на 2026–2036 гг., основанный на принципах концепции One Health и предусматривающий координацию мероприятий в сфере здоровья человека, животных, продовольственных систем и окружающей среды [2]. В связи с этим особое значение приобретают совершенствование эпидемиологического надзора, рациональное применение антимикробных препаратов, повышение доступности микробиологической диагностики, профилактика инфекций и усиление инфекционного контроля.

Цель исследования: Провести комплексный анализ современных эпидемиологических тенденций антимикробной резистентности как глобальной угрозы общественному здравоохранению, с оценкой масштабов распространения устойчивых микроорганизмов и основных факторов, способствующих формированию и передаче резистентности [1].

Изучить основные факторы риска развития и распространения антимикробной резистентности, включая нерациональное применение антимикробных препаратов, недостаточный инфекционный контроль, ограниченную доступность микробиологической диагностики и особенности распространения устойчивых возбудителей в медицинской среде, сообществах и окружающей среде [1,2].

Оценить современные подходы к профилактике и контролю антимикробной резистентности, включая совершенствование эпидемиологического надзора, программы рационального применения антимикробных препаратов, профилактику инфекций и реализацию межсекторального подхода One Health, направленного на сдерживание дальнейшего распространения лекарственно-устойчивых микроорганизмов [2].

Материалы и методы: Исследование выполнено в формате аналитического обзора современной научной литературы и официальных материалов международных организаций, посвящённых эпидемиологии антимикробной резистентности, факторам её формирования и современным

стратегиям контроля. Основными информационными источниками являлись публикации Всемирной организации здравоохранения, международные эпидемиологические отчёты, систематические обзоры и оригинальные научные исследования, отражающие современные тенденции распространения устойчивости к антимикробным препаратам [1,2].

В ходе исследования проведён анализ данных о распространённости резистентных бактериальных возбудителей, динамике устойчивости к основным классам антибиотиков и факторах, влияющих на формирование и передачу антимикробной резистентности. Особое внимание уделялось данным глобального эпидемиологического надзора, характеристике наиболее значимых сочетаний «возбудитель–антибиотик», проблеме мультирезистентности, а также роли рационального применения антимикробных препаратов и инфекционного контроля [1].

Для систематизации полученной информации использовались методы сравнительного анализа, обобщения и интерпретации научных данных. Рассматривалась взаимосвязь между использованием антимикробных препаратов, распространением устойчивых микроорганизмов и эффективностью профилактических мероприятий. Отдельно анализировались современные подходы к эпидемиологическому надзору и межсекторальному контролю АМР в соответствии с принципами One Health, предусматривающими взаимодействие медицинского, ветеринарного, продовольственного и экологического направлений [2].

Результаты и обсуждение: Анализ современных эпидемиологических данных подтверждает, что антимикробная резистентность уже оказывает существенное влияние на эффективность лечения распространённых бактериальных инфекций. Согласно глобальному отчёту ВОЗ 2025 года, основанному более чем на 23 млн бактериологически подтверждённых случаев и данных 104 стран за 2023 год, приблизительно одна из шести лабораторно подтверждённых бактериальных инфекций была устойчива к антибиотикам. При этом в 2018–2023 гг. рост резистентности отмечался более чем в 40% отслеживаемых комбинаций «возбудитель–антибиотик», что указывает на продолжающееся изменение структуры чувствительности бактериальных популяций [1].

Особое клиническое значение имеют устойчивые грамотрицательные бактерии, прежде всего Escherichia coli и Klebsiella pneumoniae. По данным ВОЗ, более 40% штаммов E. coli и более 55% K. pneumoniae, вызывающих инфекции кровотока, в глобальном масштабе устойчивы к цефалоспоринам третьего поколения. Данные возбудители могут приводить к тяжёлым инфекциям, сепсису и органной недостаточности, поэтому снижение эффективности антибиотиков первой линии непосредственно ограничивает возможности своевременной терапии [1,3]. Дополнительную проблему представляет распространение устойчивости к карбапенемам и фторхинолонам, что способствует увеличению потребности в антибиотиках резерва и повышает риск неблагоприятных исходов.

Клинический пример 1. У пациента с тяжёлой инфекцией мочевых путей или септическим состоянием выделяется E. coli, продуцирующая β-лактамазы расширенного спектра (ESBL). Эмпирическая терапия цефалоспорином третьего поколения может оказаться неэффективной, несмотря на соответствие стандартным схемам лечения. В такой ситуации микробиологическое исследование с определением антибиотикочувствительности позволяет своевременно скорректировать терапию и выбрать препарат с учётом выявленного профиля резистентности. Данный пример демонстрирует практическое значение лабораторной диагностики и локальных данных эпидемиологического надзора для принятия клинических решений [1,3].

Другим важным направлением контроля является antimicrobial stewardship — система мероприятий по рациональному назначению и применению противомикробных препаратов. Её практическое значение заключается не только в ограничении необоснованного назначения антибиотиков, но и в выборе оптимального препарата, дозы, пути введения и продолжительности терапии на основании клинической ситуации, результатов диагностики и локальных показателей резистентности. Современные рекомендации ВОЗ подчёркивают необходимость одновременного расширения доступа к диагностике и обеспечения рационального использования антибиотиков, поскольку избыточное и неправильное применение препаратов остаётся одним из основных факторов формирования устойчивости [3].

Клинический пример 2. Пациент с симптомами острой респираторной инфекции получает антибиотик без подтверждения бактериальной природы заболевания. При вирусной инфекции такая терапия не обеспечивает клинической пользы, но создаёт дополнительное селективное давление на микробиоту и способствует формированию устойчивости. В условиях antimicrobial stewardship решение о назначении антибиотика должно основываться на вероятной этиологии заболевания, клинических показаниях и, при необходимости, результатах лабораторной диагностики. Таким образом, сокращение необоснованного применения антибиотиков является одновременно индивидуальной и популяционной мерой профилактики АМР [3].

Существенное значение имеет инфекционный контроль в медицинских организациях. Предотвращение передачи устойчивых микроорганизмов посредством гигиены рук, соблюдения стандартных мер предосторожности, рациональной организации потоков пациентов, безопасного выполнения инвазивных процедур и своевременного выявления инфекций непосредственно уменьшает потребность в последующей антибиотикотерапии. ВОЗ рассматривает эффективную систему infection prevention and control как один из наиболее практичных инструментов ограничения распространения АМР, поскольку предотвращённая инфекция означает предотвращённую необходимость применения противомикробного препарата [4].

Клинический пример 3. В отделении интенсивной терапии выявляется случай инфекции, вызванной мультирезистентным K. pneumoniae. Помимо

индивидуального подбора антибактериальной терапии на основании антибиотикограммы, эпидемиологически обоснованная тактика должна включать оценку возможных контактов, усиление гигиенических мероприятий, соблюдение контактных мер предосторожности и анализ возможного внутрибольничного распространения возбудителя. Такой подход показывает, что лечение отдельного пациента и предупреждение дальнейшей передачи устойчивого микроорганизма являются взаимосвязанными задачами клинической медицины и эпидемиологии [4].

Современные данные также подтверждают необходимость перехода от исключительно госпитального подхода к контролю АМР к интегрированной модели One Health. Устойчивые микроорганизмы и гены резистентности могут циркулировать между людьми, животными, пищевыми системами и окружающей средой, поэтому меры, ограниченные только медицинскими организациями, не способны полностью контролировать эпидемиологический процесс. Эффективная стратегия должна объединять эпидемиологический надзор, лабораторный мониторинг, рациональное применение антимикробных препаратов, инфекционный контроль и межсекторальное взаимодействие. В этом контексте современные системы GLASS и национальные программы надзора имеют особое значение для выявления изменений резистентности и адаптации профилактических и терапевтических мероприятий к региональной эпидемиологической ситуации [1,2,5]. (who.int).

Выводы: Проведённый анализ показывает, что антимикробная резистентность представляет собой не только клиническую, но и комплексную эпидемиологическую проблему, непосредственно влияющую на эффективность лечения инфекционных заболеваний и безопасность медицинской помощи. Современные данные свидетельствуют о продолжающемся росте устойчивости бактериальных возбудителей к широко применяемым антибиотикам, при этом особую опасность представляет распространение мультирезистентных грамотрицательных микроорганизмов. Клинические примеры демонстрируют, что своевременная микробиологическая диагностика, определение антибиотикочувствительности и учёт локальной эпидемиологической ситуации позволяют повысить обоснованность выбора терапии и снизить вероятность неэффективного лечения [1,3].

Эффективный контроль антимикробной резистентности требует комплексного подхода, объединяющего эпидемиологический надзор, рациональное применение антимикробных препаратов, совершенствование лабораторной диагностики, профилактику инфекций и инфекционный контроль. Перспективным направлением является дальнейшее развитие подхода One Health, предусматривающего координацию мероприятий в сфере здоровья человека, ветеринарии, продовольственной безопасности и охраны окружающей среды [2,4,5]. Последовательное внедрение этих стратегий позволит ограничить распространение устойчивых микроорганизмов, сохранить эффективность существующих противомикробных препаратов и повысить готовность систем здравоохранения к изменяющейся структуре инфекционных угроз.

Список литературы

1. World Health Organization. Global antibiotic resistance surveillance report 2025. — Geneva: WHO, 2025. — 132 p.
2. World Health Organization. The World Health Assembly adopts updated Global Action Plan on Antimicrobial Resistance (2026–2036). — Geneva: WHO, 2026.
3. World Health Organization. Antimicrobial resistance // WHO Fact Sheets. — Geneva: WHO, 2025.
4. World Health Organization. Infection prevention and control // WHO Fact Sheets. — Geneva: WHO, 2025.
5. World Health Organization. One Health // WHO Fact Sheets. — Geneva: WHO, 2025.

Section: Military Affairs and National Security

ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИДОВОЇ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ ТА СИСТЕМНІ ОБМЕЖЕННЯ

Станімак Олександр
викладач
Шмиголь Вячеслав
доцент кафедри
Калеников Руслан
викладач
Кафедра бойового забезпечення та повсякденної діяльності факультету лідерства
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Україна

Вступ. Новітнє операційне середовище характеризується стрімким зростанням обсягів інформації, яка надходить від різноманітних потоків. Традиційні методи обробки розвідданих, що зосереджено на ручній праці аналітиків, досягли максимум своїх можливостей. Головним каталізатором змін у військовій розвідці став штучний інтелект (ШІ), який трансформує видову (IMINT) та радіоелектронну (SIGINT) розвідку з пасивних систем фіксації у проактивні інструменти для миттєвого прогнозування та цілевказання.

Впровадження алгоритмів машинного навчання та комп'юторного зору дозволяє автоматизувати довготривалі процеси, які раніше потребували годин або навіть днів. ШІ здатний обробляти терабайти супутникових знімків, відеопотоків із БПЛА та радіоелектронних перехоплень у режимі реального часу, забезпечуючи командування крайнеобхідною інформацією для прийняття рішень. Проте, разом із технологічним проривом, інтеграція ШІ створює нові системні вразливості та специфічні обмеження, які вимагають глибокого аналізу.

Трансформація видової розвідки (imint): від фотофіксації до комп'ютерного зору.

Видова розвідка зазнала найбільш радикальних змін завдяки технологіям комп'ютерного зору (Computer Vision) та глибоким нейронним мережам (CNN).

Автоматичне розпізнавання цілей (ATR): Сучасні алгоритми ШІ здатні самостійно ідентифікувати військову техніку, будь-які фортифікаційні споруди та елементи інфраструктури на космічних і аерофотознімках. Замість того, щоб людина переглядала тисячі квадратних кілометрів місцевості, ШІ сканує масив даних за мілісекунди, маркує виявлені об'єкти (наприклад, танки, артилерійські

системи, позиції ППО) та визначає їхні точні географічні координати. Це підвищує швидкість формування розвідданих у десятки разів.

Аналіз змін (Change Detection): Аналітична програма порівнює історичні знімки однієї й тієї самої ділянки місцевості з найновішими. ШІ миттєво фіксує появу нових окопів, капонірів, переміщення техніки або зміну структури маскування, навіть якщо ці зміни непомітні для людського ока. Це дозволяє своєчасно виявляти підготовку противника до наступальних дій або ротації підрозділів.

Модернізація радіоелектронної розвідки (sigint) засобами машинного навчання.

Радіоелектронна розвідка діє в умовах надзвичайно зашумленого ефіру та динамічної зміни частот. ШІ став ключем до розшифрування цього хаосу.

Фільтрація та класифікація сигналів: Алгоритми здатні автоматично відокремлювати цивільні радіосигнали від військових, класифікувати типи радіостанцій, РЛС або систем зв'язку противника за їхніми унікальними цифровими «відбитками». Це дозволяє виділяти пріоритетні джерела інформації без залучення операторів для первинного прослуховування.

Автоматичне розпізнавання мовлення (ASR) та переклад: Нейромережі виконують миттєву транскрипцію перехоплених голосових повідомлень, перекладають їх з мови противника та проводять семантичний аналіз тексту. ШІ виділяє ключові слова (наприклад, «вогонь», «наступ», «координати», назви підрозділів) та маркує такі перехоплення як «критичні», негайно передаючи їх у тактичну ланку для швидкого реагування.

Сильні сторони ШІ-орієнтованих методів розвідки.

Впровадження інтелектуальних систем надає арміям низку фундаментальних переваг, які змінюють правила гри на полі бою:

Безпрецедентна швидкість (Миттєве цілевказання): Час від моменту фіксації об'єкта сенсором до передачі його координат вогневому засобу (цикл «sensor-to-shooter») скорочується до кількох хвилин або навіть секунд. ШІ автоматично формує цифрові картки цілей для артилерії чи ударних дронів.

Подолання інформаційного перевантаження: Системи ШІ виконують роль первинного фільтра, який відсіює до 95% інформаційного шуму та порожніх даних, дозволяючи військовим аналітикам зосередитися на перевірці дійсно важливих та підтверджених фактів.

Цілодобовий автономний моніторинг: Алгоритми не втомлюються, не втрачають концентрації через брак сну і здатні однаково ефективно аналізувати дані на першій та двадцять четвертій годині чергування, що мінімізує вплив людського фактора.

Слабкі сторони та системні обмеження алгоритмів

Попри колосальні переваги, ШІ-розвідка має специфічні та глибокі уразливості, якими активно користується технологічно розвинений противник.

Ефект «Чорної скриньки» (Lack of Explainability): Глибокі нейронні мережі видають готовий результат (наприклад, «виявлено командний пункт» із

імовірністю 87%), але не можуть пояснити логіку свого рішення. Якщо алгоритм припускається помилки через специфічні умови освітлення чи спотворення сигналу, аналітик не завжди може зрозуміти причину збою, що створює ризик завдання ударів по хибних цілях.

Вразливість до змагальних атак (Adversarial Attacks): Противник може використовувати спеціальні спотворення, камуфляж або геометричні накладки на техніку, які є непомітними для людини, але повністю дезорієнтують комп'ютерний зір. Додавання незначного цифрового шуму або специфічного піксельного візерунка на дах бронемашини змушує ШІ класифікувати танк як цивільний автомобіль або взагалі його «не помічати».

Залежність від якості навчальних даних (Data Bias): Якщо нейромережу тренували на знімках техніки у пустелі, вона покаже низьку ефективність у засніженому лісі або в умовах щільної міської забудови. ШІ погано адаптується до умов, які виходять за межі його шаблонів навчання.

Висновки. Штучний інтелект остаточно трансформував видову та радіоелектронну розвідку, перетворивши її на високошвидкісну індустрію обробки даних. Він знімає з людини тягар рутинної аналітики, забезпечуючи небачену раніше швидкість реакції військ.

Проте ШІ не здатний повністю замінити людський інтелект. Системні обмеження алгоритмів, їхня вразливість до кібератак, маскування та дезінформації вимагають збереження жорсткого людського контролю. Найбільшу живучість та ефективність демонструватимуть гібридні розвідувальні системи, де ШІ виконує роль надшвидкого збирача та фільтра інформації, а фінальну верифікацію, оцінку замислу противника та прийняття рішення здійснює людина – військовий аналітик із досвідом реальних бойових дій.

Список використаних джерел

1. McGlynn P. Intelligence Analysis Fundamentals. 2nd ed. Taylor & Francis, 2026. 502 p.
2. Haigh K., Andrusenko J. Cognitive Electronic Warfare: An Artificial Intelligence Approach. Artech House, 2021. 288 p.
3. Шарре П. Невидима армія: автономна зброя та майбутнє війни / пер. з англ. Київ : [б. в.], 2024. С. 320.).
4. Оцінка спроможностей розвідувальних співтовариств щодо використання технологій штучного інтелекту / О. М. Ткач та ін. Наука і оборона. 2021. № 2. С. 34–41.
5. Застосування комп'ютерного зору в системах обробки видової розвідки (IMINT) : монографія / В. В. Петренко, С. І. Коваль. Київ : Військове видавництво, 2023. 182 с.

ЖИВУЧІСТЬ ТАКТИЧНОЇ НАВІГАЦІЇ: АКТУАЛЬНІСТЬ КЛАСИЧНОЇ ТОПОГРАФІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ В ЕПОХУ ПРИДУШЕННЯ GPS

Калеников Руслан
викладач
Шмиголь Вячеслав
доцент кафедри
Станімак Олександр
викладач
Кафедра бойового забезпечення та повсякденної діяльності факультету лідерства
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Україна

Вступ. Парадокс цифрової вразливості в сучасній війні. Сучасний бойовий простір характеризується глибокою інтеграцією цифрових технологій, де супутникові навігаційні системи (GNSS/GPS) стали фундаментом для управління військами, цілевказання та високоточного ураження. Проте тотальна цифровізація даного напрямку породила критичну технологічну залежність. У військових конфліктах високої інтенсивності з паритетним чи технологічно переважаючим противником засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) здатні миттєво змінити цю перевагу.

Дивина сучасної війни полягає в тому, що найтехнологічніша армія світу може втратити боєздатність на рівні тактичної ланки (відділення, взвод, рота), якщо особовий склад не в змозі буде діяти за умов відсутності сигналу GPS.

Аналогова навігація за картою та компасом є абсолютно невразливою до радіоелектронного придушення, кібератак, енергетичного знеструмлення або знищення супутникових угруповань на орбіті. Вона не випромінює сигналу в ефір, не демаскує підрозділ і є єдиним надійним методом збереження мобільності та темпу наступу чи організованого відходу за умов "цифрового туману війни".

1. Технічний аналіз вразливостей GNSS: чому супутники сліпнуть.

Супутникові навігаційні системи, такі як: (NAVSTAR GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou) за своєю природою мають фундаментальні фізичні обмеження, які роблять їх першочерговою ціллю для радіоелектронної протидії.

Надзвичайно низька потужність сигналу: Навігаційні супутники перебувають на середніх навколоземних орбітах (близько 20 000 км). Сигнал, що доходить до поверхні Землі, має потужність близько -160 дБВт. Це еквівалентно світлу слабкої лампочки за тисячі кілометрів. Будь-який генератор завад на землі, потужністю всього кілька ватів, здатний легко "засліпити" приймач у радіусі кількох десятків кілометрів.

Спуфінг (Spoofing) – імітаційна завада: Найбільш небезпечний вид протидії, за якого комплекс РЕБ противника генерує фальшивий сигнал GPS із вищою потужністю. Приймач військовослужбовця або безпілотника "вірить" цьому сигналу, але отримує викривлені координати. Це призводить до дезорієнтації, виходу підрозділів на мінні поля, засідки або відхилення засобів ураження від цілей.

Джамінг (Jamming) – шумова завада: Пряме придушення частот GNSS (L1, L2, L5) потужним спрямованим або купольним білим шумом. Приймач повністю втрачає зв'язок із супутниками, видаючи помилку позиціонування. Застосування купольних систем РЕБ над опорними пунктами та на бронетехніці створює суцільні зони "невідання" на лінії бойового зіткнення.

2. РЕБ як постійний чинник тактичного середовища (зони A2/AD)

Сучасна концепція обмеження та витиснення доступу (Anti-Access/Area Denial, A2/AD) передбачає створення багатошарової системи ППО та РЕБ, яка повністю перекриває тактичну глибину оборони. РЕБ більше не є засобом стратегічного чи оперативного рівня; він спустився безпосередньо в окопи та на бронетехніку.

Насиченість передової портативними "антидроновими рушницями" та окопними куполами РЕБ призводить до того, що GPS-сигнал зникає не епізодично, а перманентно. Орієнтування за допомогою комерційних чи навіть військових планшетів із GPS стає неможливим на відстані 5–10 км від лінії бойового зіткнення (ЛБЗ).

Зони придушення постійно змінюються залежно від переміщення комплексів противника та роботи власних засобів радіоелектронного захисту (РЕЗ). Підрозділ не може спрогнозувати, де саме зникне зв’язок, тому готовність перейти на аналогові карти має бути миттєвою.

Втрата цифрової карти викликає у непідготовленого особового складу тактичний параліч. Військовослужбовці втрачають розуміння, де свої, де ворог, і де точка евакуації, що призводить до зриву бойових завдань та невиправданих втрат.

3. Структура класичної топографії: фундаментальні навички. Класична топографічна підготовка – це не просто вміння дивитися на карту. Це комплексна дисципліна, яка формує просторове військове мислення та дозволяє впевнено діяти за будь-яких умов.

Розуміння умовних знаків, рельєфу (за горизонталями), масштабу та координатної сітки (зокрема MGRS або класичної кілометрової сітки). Сержант чи офіцер має "бачити" тривимірний ландшафт через плоске зображення карти, оцінювати захисні властивості місцевості, зони прямої видимості та танконебезпечні напрямки.

Визначення сторін світу, вимірювання магнітних азимутів, орієнтування карти за компасом. Компас є абсолютно автономним приладом, робота якого залежить лише від магнітного поля Землі, а не від наявності живлення чи супутників.

Навичка визначення напрямків за Полярною зіркою, сонцем, годинами, а також за характерними ознаками природи (мох, крони дерев, розташування релігійних споруд). Це базовий рівень виживання, який рятує життя при повній втраті майна.

Вміння точно визначати відстані на око, рахувати кроки (пари кроків) при переміщенні у лісистій, пустельній або міській місцевості під час обмеженої видимості (вночі, в тумані чи в диму).

4. Концепція "Аналового бекапу" та метод DEAD RECKONING.

У бойових умовах класична топографія не суперечить цифровій, а виступає її обов'язковим дублюючим елементом – "аналоговим бекапом". Головним принципом живучості навігації є паралельне ведення маршруту.

Метод "сліпого прокладання" (Dead Reckoning): Суть методу полягає в безперервному обчисленні поточного положення підрозділу на основі раніше відомої точки старту, напрямку руху (азимуту) та пройденої відстані (швидкості або кількості кроків).

Технологія реалізації в тактичній ланці:

1. Перед виходом на завдання командир фіксує точні координати початкової точки.

2. На паперову карту наноситься маршрут, розбитий на прямі ділянки (коліна). Для кожної ділянки розраховується магнітний азимут та відстань у метрах і парах кроків.

3. Під час руху призначені військовослужбовці ведуть підрахунок кроків, а замикаючий або командир контролює напрямок за компасом.

4. Кожна проміжна точка орієнтира фіксується на карті. У разі раптового придушення GPS підрозділ чітко знає своє поточне місцезнаходження з похибкою не більше **3-5%** від пройденого шляху.

5. Психологічний аспект та подолання "Технологічного шоку". Втрата навігації в бою – це не лише технічна проблема, це потужний деструктивний психологічний чинник. Сучасна людина звикла до постійного супроводу Google Maps або спеціалізованого військового софту (на кшталт "Кропива", "Delta").

Ефект психологічної безпорадності: Коли екран планшета гасне або показує помилку, непідготовлений боєць відчуває гострий стрес, дезорієнтацію та паніку. Виникає відчуття відрізаності від основних сил, втрачається ініціатива.

Впевненість через компетентність: Класична топографічна підготовка діє як психологічний стабілізатор. Боєць, який вміє орієнтуватися за картою та компасом, сприймає вимкнення GPS не як катастрофу, а як штатну зміну умов виконання завдання. Компетентність народжує спокій, спроможність приймати адекватні рішення під вогнем та зберігає керованість підрозділу.

Висновок. Для забезпечення живучості тактичної навігації у кожному батальйоні, роті та взводі мають бути впроваджені жорсткі процедури аналогового дублювання.

Цифрові навігаційні системи – це потужний прискорювач бойових спроможностей, але вони є крихкими. Класична топографічна підготовка – це

броня, яка захищає тактичну навігацію від руйнування. Паперова карта не має акумулятора, який може розрядитися на морозі, вона не випромінює радіохвиль для ворожого пеленгу і її неможливо заглушити жодним комплексом РЕБ у світі.

Перемога у сучасній високотехнологічній війні на виснаження належатиме тим арміям, які, володіючи передовими цифровими технологіями, зберегли та відточили до досконалості базові, перевірені часом військові навички орієнтування та автономного виживання на полі бою.

Список використаних джерел

1. Geodetic Datums, Projections, Grids and Grid References : STANAG 2211 / NATO Standardization Agency. 7th ed. Brussels : NSA, 2016. 12 p.
2. Table of Tactical Symbols : STANAG 3715 / NATO Standardization Agency. Brussels : NSA, 2011. 48 p.
3. Досвід застосування "окопного РЕБ" та протидії супутниковому спуфінгу в сучасних конфліктах : аналітична доповідь / Центр досліджень армії, конверсії та роззброєння ; [інформаційно-консалтингова компанія Defense Express]. Київ : ЦДАКР, 2024. 34 с.
4. Haigh K., Andrusenko J. Cognitive Electronic Warfare: An Artificial Intelligence Approach. Boston ; London : Artech House, 2021. 288 p.
5. Пономаренко О. В., Купрієнко С. М. Спуфінг навігаційних сигналів як інструмент асиметричної протидії у тактичній ланці. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ. 2023. № 2 (78). С. 45–52.

Section: Pedagogy, Philology and Linguistics

THE ROLE OF VIRTUAL EXPERIMENTS IN TEACHING PHYSICS

Musayeva Gulshan Ali
Doctor of Philosophy (PhD) in Pedagogy
Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan

Abstract

The development of modern educational technologies necessitates the use of new methods and tools in the process of teaching physics. In this context, virtual experiments enable students to grasp physical phenomena more clearly and visually, link theoretical knowledge with practical activities, and develop research skills. In addition to modeling real experiments in a digital environment, virtual laboratories create safe, accessible, and reusable learning opportunities. This article examines the importance, advantages, application possibilities, and existing limitations of virtual experiments in teaching physics.

Keywords: physics education, virtual experiment, virtual laboratory, digital education, interactive learning, physics experiment.

Introduction

Physics is one of the fundamental sciences that studies natural phenomena, their underlying laws, and their interrelationships. In teaching physics, merely providing theoretical knowledge is not sufficient for students to fully master the subject. Experiments and observations play a crucial role in understanding theoretical concepts practically. Various types of equipment are used in traditional physics laboratories. However, shortages of equipment, high costs, limited laboratory space, and the hazardous nature of certain experiments can create significant challenges. The integration of digital technologies into education provides solutions to many of these issues. Through virtual experiments, it is possible to model physical processes on computers and other digital devices, control variables, and observe the results.

The Concept of Virtual Experiments

A virtual experiment is the modeling of physical phenomena and processes using computer software, simulations, and interactive digital environments. In such experiments, students can modify specific parameters and observe their impact on the final outcome. For instance, in mechanics, the interrelationships between variables such as a body's mass, force, and velocity can be investigated in a virtual environment. In the electricity unit, the relationship between voltage, current intensity, and resistance can be observed by altering various parameters. One of the key features of virtual experiments is their interactivity. Students do not passively receive ready-made information; instead, they actively intervene in the process, propose hypotheses, manipulate variables, and analyze the results obtained.

Importance of Virtual Experiments in Physics Education

Virtual experiments facilitate a more visual and interactive organization of physics lessons. Presenting abstract physical concepts through animations and simulations helps students comprehend the subject matter more easily. Modeling microscopic processes or phenomena that are difficult to observe directly is a major advantage. For example, processes such as the motion of atoms and molecules, the structure of an electric field, and wave propagation can be visualized effectively in a virtual environment. Virtual experiments also expand students' opportunities for independent learning. A student can repeat an experiment multiple times without direct assistance from a teacher, modify different parameters, and compare the outcomes.

Main Advantages of Virtual Experiments

Virtual experiments offer several advantages in teaching physics:

- Visual and Interactive Learning: Physical processes are presented more clearly through graphs, animations, and models.
- Safety: Hazardous or risky processes—such as high voltage or high temperature—can be studied safely in a virtual environment.
- Repeatability: Experiments can be repeated as many times as needed.
- Time and Resource Savings: The need for physical laboratory equipment for certain experiments is reduced.
- Personalized Learning: Students can work at their own pace and analyze results independently.
- Expanded Experimental Scope: Parameters that are difficult to alter in a physical lab can be adjusted easily in a virtual setup.
- Comparison of Results: Data and outcomes from different trials can be saved and compared side by side.

Areas of Application

Virtual experiments can be integrated across various branches of physics. In mechanics, topics such as free fall, motion, force, and energy can be modeled. In molecular physics, processes related to temperature, pressure, and gas behavior can be simulated.

In electricity and magnetism, building simple electrical circuits, changing resistance, and measuring current and voltage can be performed virtually. In optics, phenomena such as refraction, reflection, light passing through lenses, and other optical events can be simulated. These capabilities allow teachers to design tasks of varying complexity tailored to the specific objectives of the lesson.

Interconnection Between Virtual and Real Experiments

Virtual experiments should not be viewed as a complete substitute for real laboratory work, but rather as a complementary educational tool. During real experiments, students learn how to handle laboratory equipment, take measurements, account for measurement errors, and operate physical instruments. A virtual laboratory, on the other hand, is valuable for pre-modeling these processes, explaining complex phenomena, and comparing post-experimental results. Therefore, one of the most effective pedagogical approaches is the harmonious integration of both virtual and real experiments.

Limitations of Using Virtual Experiments

Despite their numerous advantages, virtual experiments also have certain limitations. First and foremost, not all students may have equal access to computers, tablets, or a stable internet connection. Furthermore, a simulation cannot fully replicate all nuances and real-world friction of a physical laboratory environment.

Students working exclusively in a digital space may miss out on developing essential tactile skills, such as directly handling measuring devices, assembling physical setups, or experiencing real experimental error firsthand. Therefore, when utilizing virtual experiments, teachers must clearly define their pedagogical goals and align them with real-world experiments.

The Role of the Teacher

The teacher plays a pivotal role in the effective implementation of virtual experiments. A teacher should not merely demonstrate a simulation, but should also present challenging problems and inquiry-driven research questions to the students.

For example, a teacher can first ask students to predict how changing a specific variable will affect the outcome, and then organize a virtual experiment to test that hypothesis. This inquiry-based approach fosters critical thinking, problem-solving, and scientific reasoning skills.

Conclusion

Virtual experiments are an essential component of the modern digital learning environment in physics education. They allow for the visualization of physical phenomena, bridge the gap between theoretical knowledge and practical application, and actively engage students in the learning process. The primary advantages of virtual experiments include safety, accessibility, repeatability, interactivity, and the ease of adjusting variables. However, virtual experiments should not fully replace real hands-on laboratory work; rather, they should be applied as tools that complement and enhance traditional methods. Ultimately, the purposeful integration of virtual and real experiments can significantly enhance the quality of physics instruction, foster students' experimental and research competencies, and contribute to a deeper understanding of physical laws.

References

1. Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulations. University of Colorado Boulder.
2. McDermott, L. C. Physics by Inquiry. John Wiley & Sons.
3. Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., et al. "When Learning about the Real World is Better Done Virtually: A Study of Substituting Computer Simulations for Laboratory Equipment." Physical Review Special Topics – Physics Education Research.
4. de Jong, T., Linn, M. C., Zacharia, Z. C. "Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education." Science.
5. Wieman, C. E., Perkins, K. K. "Transforming Physics Education." Physics Today.

МЕДІАРЕСУРСИ ТА СОЦІАЛЬНІ МЕРЕЖІ В НАВЧАННІ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ УЧНІВ СТАРШИХ КЛАСІВ

Огар Ліліана Ігорівна
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Савченко Оксана Орестівна
кандидат філологічних наук, доцент
Кафедра практики англійської мови
Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка, Україна

Анотація. У статті уточнено поняття медіаресурсів і соціальних мереж в освітньому процесі, розглянуто вікові особливості учнів старших класів, релевантні для роботи з цифровим контентом, та дидактичний потенціал автентичних медіатекстів для розвитку видів мовленнєвої діяльності. Проаналізовано сучасні платформи, освітні функції соціальних мереж і наявні методики роботи з відео та мережевими сервісами. Показано, що навчальний ефект залежить не від популярності ресурсу, а від завдання, адресата й безпечного контуру комунікації.

Ключові слова: медіаресурси, соціальні мережі, іншомовна комунікативна компетентність, старша школа, автентичний медіатекст, медіаосвіта, цифрова безпека.

Введення. Формування іншомовної комунікативної компетентності учнів 10–11 класів передбачає не лише засвоєння програмного мінімуму, а й здатність сприймати та продукувати мовлення в умовах реального інформаційного середовища. Медіаресурси й соціальні мережі становлять основний канал автентичного англомовного вхідного матеріалу для підлітків, проте їхня присутність у шкільному курсі часто залишається епізодичною: фрагмент демонструється без навчального завдання, мережевий сервіс використовується як канал оголошень, продуктивний вихід відсутній.

Опора переважно на підручник забезпечує системність граматики та лексики, однак обмежує обсяг автентичного дискурсу і знижує відповідність навчальної ситуації мовленнєвому досвіду старшокласника. Унаслідок цього рецептивні вміння можуть випереджати продуктивні, а цифрові жанри, якими учень користується поза школою, не стають об’єктом цілеспрямованого опрацювання.

Комунікативну спрямованість навчання іноземних мов обґрунтовує вітчизняна методика [5]. Дж. Хармер розглядає автентичні матеріали як ресурс комунікативно значущих ситуацій [12], Дж. Шерман описує відео як джерело актуальних акцентів, лексики й типів дискурсу, якого не дає підручник [14]. У медіаосвіті Г. Онкович визначає навчання «за допомогою медіазасобів» як

предмет медіадидактики [7], а Д. Бакінгем розмежовує навчання про медіа і навчання за допомогою медіа [10]. Соціальні мережі д. бойд і Н. Еллісон описують як сервіси з профілем, списком зв'язків і можливістю ці зв'язки переглядати [9]. Для школи це означає, що мережа є середовищем взаємодії, а не лише сховищем роликів.

Незважаючи на наявність окремих досліджень, у шкільній практиці зберігається термінологічна і методична розмитість: навчальний ролик змішують із розважальним, освітню спільноту – зі стрічкою новин, а потенціал платформи ототожнюють із фактом її відкриття на уроці. Це зумовлює потребу в уточненні понять, вікових умов і дидактичних меж використання медіаресурсів та соціальних мереж у старшій школі.

Мета та задачі дослідження. Мета статті – теоретично обґрунтувати місце медіаресурсів і соціальних мереж у навчанні англійської мови учнів старших класів та узагальнити умови, за яких ці засоби розвивають види мовленнєвої діяльності. Завдання: 1) уточнити поняття медіаресурсів і соціальних мереж та їхнє співвідношення в освітньому процесі; 2) визначити психолого-педагогічні особливості старшокласників, релевантні для роботи з цифровими медіа; 3) розкрити дидактичний потенціал медіатекстів для слухання, говоріння, читання й письма; 4) проаналізувати сучасні платформи, освітні функції мереж і наявні методики роботи з медіатекстом.

Результати дослідження і їх обговорення. У педагогічному вжитку поняття media давно вийшло за межі друкованої преси. В «Енциклопедії освіти» медіа описано як технічні засоби створення, зберігання, розповсюдження й сприймання інформації – від друку і радіо до мультимедійних систем та Інтернету [1, с. 481]. Для вчителя англійської мови таке визначення занадто широке: потрібне робоче уявлення про матеріали, які можна ввести в урок.

Медіаресурс у навчанні іноземної мови має подвійну природу. З одного боку, це носій автентичного мовлення – відео, подкаст, допис, сторіс, коментар. З іншого – дидактичний засіб, який учитель добирає, адаптує або створює. Під медіаресурсами в освітньому процесі розуміємо сукупність текстових, аудіовізуальних та інтерактивних матеріалів, що можуть виступати змістом навчання, засобом навчання або продуктом навчальної діяльності учнів.

Це розуміння близьке до медіаосвіти, але не тотожне їй. За Д. Бакінгемом, медіаосвіта є процесом навчання про медіа, а медіаграмотність – його результатом; навчання за допомогою медіа не слід із цим процесом ототожнювати [10, с. 4]. Урок із роликом YouTube може бути і тим, і тим: заповнення пропусків у субтитрах розвиває слухання, питання про автора, аудиторію й цінності ролика відкриває медіаосвітній вимір. Г. Онкович розглядає медіадидактику як галузь, що визначає цілі, зміст і методи освіти за допомогою медіазасобів [7, с. 194]. Саме цей акцент релевантний для методики англійської мови.

Нормативну рамку в Україні задає «Концепція впровадження медіаосвіти» (2016), яка включає до медіаграмотності вміння «виражати себе і спілкуватися за

допомогою медіазасобів» і вимагає «безпечної та ефективної взаємодії» з традиційними й новітніми медіа [4, с. 4]. Для старшокласника це означає не лише критичний перегляд відео, а й створення короткого власного тексту іноземною мовою в контрольованому контурі. В. Іванов та О. Волошенюк нагадують, що ЮНЕСКО трактує медіаосвіту як частину права на свободу самовираження та інформацію [3, с. 7–8].

Соціальна мережа не зводиться до сховища контенту. Три ознаки д. бойд і Н. Еллісон – профіль, список зв'язків, можливість ці зв'язки переглядати – відрізняють її від звичайного відеосайту [9, с. 211]. Українські дослідження підкреслюють роль мереж як середовища поширення матеріалів і групового обговорення [2], застерігаючи водночас від декоративного використання платформи. Співвідношення понять таке: соціальна мережа може бути каналом доставки медіаресурсу, самим ресурсом і середовищем його створення. Коментар англійською є мікротекстом, народженим у взаємодії, а не лише підписом під роликом.

Вікові умови визначають, чи розкриється цей шар. За М. Савчиним і Л. Василенко, рання юність охоплює 10–11 класи (приблизно 15–18 років) і є періодом перебудови поглядів та формування переконань [8, с. 42, 248]. Когнітивно учень готовий до аналізу й порівняння джерел, однак ця здатність запускається завданням, а не самим фактом перегляду. Після довільна увага тримається там, де є інтерес або особистісний запит [8, с. 268]. Самосвідомість загострена: камера, сторіс, коментар виводять помилку в умовно публічний простір. Без психологічної безпеки продуктивне завдання в мережі блокується страхом оцінки. Адресат-однокласник ближчий до реального мотиву говоріння, ніж перевірка вчителя.

Мотивація неоднорідна. С. Ніколаєва розглядає її як чинник, що «викликає цілеспрямовану активність» [5]. Зовнішній план живить іспит і вступ, внутрішній – інтерес до живого мовлення. З. Дорней наголошує, що вчитель може підтримувати мотивацію ясними цілями, цікавим змістом і зниженням тривожності [11]; той самий ролик без опори здатний тривожність підвищити.

Побутова вправність у смартфоні не тотожна навчальній цифровій компетентності. О. Овчарук визначає останню як здатність отримувати доступ до інформації, оцінювати її, застосовувати для спілкування, створення продуктів і здобуття нових знань [6, с. 14]. «Сидіти в TikTok» і вміти перевірити джерело ролика – різні вміння. Інструкція «зніміть відео» без розмови про згоду, музичні права й публічність профілю є вже методичною помилкою [4].

Дидактичний потенціал медіаресурсу не дорівнює його популярності. Автентичний матеріал з'явився не для класу, а для реальної комунікації [12; 14]. Навіть складний текст стає доступним, якщо завдання градуйоване від загального розуміння до аналізу [5]. Для відео це логіка pre- / while- / post-viewing [15]. Для слухання відео й подкаст дають темп, акцент і зображення. Користь для рівня B1–B2 полягає не в тому, щоб зрозуміти все, а в тому, щоб витримати неповне розуміння. Говоріння з'являється після перегляду у формі короткої

реакції; 20–40 секунд ближчі до знайомого жанру, ніж розповідь біля дошки, і знижують тривожність [11]. Читання охоплює підпис, коментар, заголовок; письмо в мережі має адресата. Інтерактивність народжується не з платформи, а з навчальної дії на платформі [7].

Обмеження потенціалу слід називати прямо. Швидке мовлення і сленг можуть обернути автентичність на фрустрацію. Без етапу після сприйняття слухання лишається слуханням. Медіаресурс не модернізує урок сам; модернізує його завдання.

Аналіз сучасних ресурсів показує функційну, а не ієрархічну різницю між групами. Відеоплатформи і навчальні серії BBC Learning English, British Council дають автентичний або навчально-автентичний вхід. Соціальні мережі й месенджери дають адресата й місце короткої реакції. Мобільні додатки працюють як тренажер лексики чи вимови. Д. Нунан наголошував, що автентичні матеріали готують до використання мови поза класом [13, с. 27–29]; більшість додатків готують до наступного рівня в самому додатку. Quizlet доцільний до або після медіатексту. Wordwall виправданий як коротка перевірка після ролика. Duolingo підтримує звичку вдома, але не дає співрозмовника. Жоден ресурс не закриває урок самостійно: стійкою є зв'язка «опора – автентичний фрагмент – тренажер – вихід».

Соціальну мережу слід відділяти від відеохостингу. Другий забезпечує сприйняття, перша – реакцію і здачу. Базовим каналом є доцільний уже звичний класу закритий месенджер. Англійська обов'язкова в навчальній гілці; відкритий профіль не є умовою оцінювання. Порівняння функцій трьох груп ресурсів узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Функції медіаресурсів у навчанні англійської мови старшокласників

Група ресурсів	**Основна функція**	**Типове обмеження**	**Місце в уроці**
Відео- та аудіоресурси (YouTube, TED-Ed, BBC Learning English)	Автентичний або навчально-автентичний вхід; слухання	Без завдання після перегляду лишається рецепція	Сприйняття (pre- / while- / post-viewing)
Соціальні мережі та месенджери	Адресат, короткий жанр відповіді, закрита група	Без мовної рамки канал стає логістичним	Продуктивний вихід
Мобільні додатки (Quizlet, Wordwall, Duolingo, ELSA Speak)	Тренажер лексики, форм, окремого звука	Немає співрозмовника; ілюзія знання	До або після медіатексту

*дані сформовано автором на основі аналізу джерел [12; 13; 14] та узагальнення шкільної практики

Наявні методики роботи з медіатекстом збігаються в кількох вузлах. Класична відеометодика закріпила етапи до, під час і після перегляду [15]. Комунікативний підхід вимагає, щоб після матеріалу з'являлося завдання з метою, результатом і адресатом [5; 12]. Медіаосвітня лінія додає питання про

автора, аудиторію й несказане [4; 7; 10]. Методика працює, коли три вузли присутні одночасно – градуйоване сприйняття, комунікативний вихід, елемент ставлення до медіатексту.

Практичні умови такі. Фрагмент відбирають до уроку за темою програми, посильним головним змістом, тривалістю (переважно від 40 секунд до трьох хвилин на вході), якістю звуку й етичністю. На перших циклах надійніші інституційні джерела. Місце ролика – початок або середина пари; кінець залишають продукту. Формат здачі на перших етапах варто давати на вибір: голос, письмо, репліка в парі. Безпека контуру є частиною дидактики [4].

Висновки. Медіаресурси в навчанні англійської мови старшокласників – це не каталог платформ, а матеріали різних модальностей, що можуть бути змістом, засобом або продуктом навчання. Соціальні мережі додають взаємодію елементів, таких як профіль, зв'язки, видимість, аудиторія. Навчальний ефект виникає там, де розрізняють навчання за допомогою медіа і навчання про медіа та не ототожнюють відкритий додаток із комунікативним завданням.

Вікова специфіка ранньої юності робить медіатекст потенційно сильним ресурсом – за умови інтересу, вибору, безпечного контуру й адресата-однолітка – і водночас джерелом тривожності, якщо продукт одразу виноситься в публічний простір. Порівняння ресурсів показує підпорядкованість груп: додаток готує одиницю, ролик дає ситуацію, мережа дає адресата. Існуючі методики збігаються у вимозі поєднати етапи сприйняття, комунікативний вихід і елемент медіаграмотності.

Список використаних джерел

1. Енциклопедія освіти / гол. ред. В. Г. Кремень. Київ : Юрінком Інтер, 2008. 1040 с.
2. Зацерківна М., Халіманенко В. Соціальні мережі як ефективне середовище в освітньому процесі. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2024. Т. 7, № 1. С. 144–155.
3. Іванов В. Ф., Волошенюк О. В. Медіаосвіта та медіаграмотність : підручник. Київ : Центр вільної преси, 2012. 352 с.
4. Концепція впровадження медіаосвіти в Україні (нова редакція) / за ред. Л. А. Найдьонової, М. М. Слюсаревського. Київ : ІСПП НАПН України, 2016. 16 с.
5. Методика навчання іноземних мов і культур: теорія і практика : підручник / за ред. С. Ю. Ніколаєвої. Київ : Ленвіт, 2013. 590 с.
6. Овчарук О. В. Інформаційно-комунікаційна компетентність як предмет обговорення: міжнародні підходи. Формування інформаційно-комунікаційних компетентностей у контексті євроінтеграційних процесів створення інформаційного освітнього простору. Київ : Атіка, 2014. С. 8–16.
7. Онкович Г. В. Новітні терміни медіадидактики в структурі розділів спецкурсу «Професійно орієнтована медіаосвіта». Матеріали конференції «Новітня освіта». Дніпро, 2023. С. 169–198.

8. Савчин М. В., Василенко Л. П. Вікова психологія : навч. посіб. 2-ге вид. Київ : Академвидав, 2011. 384 с.
9. boyd d. m., Ellison N. B. Social network sites: Definition, history, and scholarship. Journal of Computer-Mediated Communication. 2007. Vol. 13, No. 1. P. 210–230.
10. Buckingham D. Media Education: Literacy, Learning and Contemporary Culture. Cambridge : Polity Press, 2003. 232 p.
11. Dörnyei Z. Motivational Strategies in the Language Classroom. Cambridge : Cambridge University Press, 2001. 155 p.
12. Harmer J. The Practice of English Language Teaching. 4th ed. Harlow : Pearson Longman, 2007. 448 p.
13. Nunan D. Second Language Teaching and Learning. Boston : Heinle & Heinle, 1999. 330 p.
14. Sherman J. Using Authentic Video in the Language Classroom. Cambridge : Cambridge University Press, 2003. 277 p.
15. Stempleski S., Tomalin B. Video in Action: Recipes for using video in language teaching. New York : Prentice Hall, 1990. 173 p.

CRITERIA FOR SELECTING GERMAN LANGUAGE FILMS AND VIDEO MATERIALS FOR STUDENTS IN GRADES 10 AND 11

Balo Hanna
Master, V.G. Korolenko
Poltava National Pedagogical University, Ukraine

Abstract

The article develops criteria for selecting German-language films and video materials for students in grades 10 and 11. Drawing on the Common European Framework of Reference for Languages and film-teaching guidance from the Goethe-Institut, it proposes a multi-criterion decision framework rather than a fixed list of “best” films. The proposed criteria concern curriculum alignment, age and emotional suitability, linguistic accessibility, cultural and representational value, task potential, and practical accessibility. The article distinguishes essential screening conditions from qualities that teachers can improve through scaffolding. A selection matrix and an illustrative screening procedure show how teachers can choose a short scene, formulate an observable learning outcome, and plan before-, during-, and after-viewing tasks. The analysis indicates that a film is educationally useful when its content and form support specific student actions, including comprehension, evidence-based interpretation, and German-language discussion. The criteria are methodological proposals; no student experiment or statistical validation is claimed.

Keywords: German as a foreign language; film selection; video materials; grades 10 and 11; audiovisual comprehension; intercultural learning; teaching criteria.

Introduction

Films and videos have become readily available to teachers of German, but availability is not an educational criterion. A popular feature film may interest students while containing dense dialect, unsuitable content, or scenes that do little to advance a lesson objective. Conversely, a brief interview may offer a rich opportunity to recognise forms of address, identify a speaker's position, and discuss an unfamiliar point of view. The central methodological problem is therefore to choose an audiovisual text for a defined group of learners and a defined task.

Students in grades 10 and 11 can engage with questions about identity, education, mobility, family, and social participation. Their German proficiency and prior knowledge, however, may vary considerably within one class. Selection must balance intellectual interest with comprehension support and respect for learners' personal circumstances. The Goethe-Institut stresses learners' age, interests, cultural backgrounds, and language level when choosing films for German lessons. The CEFR Companion Volume includes a separate scale for watching television, film, and video, with progression from identifying main points toward understanding detail and implied meaning. These sources inform a principled selection process, while the final decision remains specific to the class.

The aim of this article is to substantiate a practical set of criteria for selecting German-language audiovisual materials for students in grades 10 and 11. Its objectives are to define the purposes of film use in upper secondary German lessons; distinguish essential requirements from adjustable challenges; formulate linguistic, intercultural, didactic, and practical criteria; and demonstrate a transparent procedure for screening a video excerpt. The study uses document analysis, comparison, and pedagogical modelling. It presents an instructional framework rather than empirical findings from a classroom intervention.

The first result of the analysis is that selection should begin with the lesson outcome, not the title or genre. A teacher might want students to identify the main point of an interview, infer the relationship between two speakers, compare perspectives on a social issue, or justify an interpretation using evidence from the image and sound. Each outcome calls for a different clip and a different level of linguistic complexity. The CEFR scale for watching television, film, and video can help calibrate what learners are reasonably expected to understand, but a grade number alone cannot substitute for an assessment of the class's actual proficiency.

The second result is a distinction between non-negotiable conditions and adaptable features. A clip with content unsuitable for the students' age, a lack of lawful access, or an inability to play it reliably should be excluded. Fast speech, unfamiliar vocabulary, or length may be manageable when the excerpt can be shortened, replayed, glossed, or paired with focused subtitles. This distinction prevents teachers from rejecting valuable authentic material merely because it is challenging, while also avoiding the assumption that any difficulty can be solved by a worksheet.

The proposed selection criteria are summarised below. They are intended as questions for professional judgment; they have not been statistically weighted or validated as a measurement scale.

Criterion	Screening question	Decision indicator
Learning purpose	Which specific skill or interpretation will students practise?	The clip supports an observable German-language task.
Age and wellbeing	Is the content appropriate for this class and its circumstances?	Themes can be discussed safely and respectfully.
Language and sound	Can learners follow the key meaning with reasonable support?	Speech, sound, and subtitles permit focused viewing.
Cultural perspective	Does the clip show situated viewpoints rather than invite stereotypes?	Students can compare evidence and possible interpretations.
Task potential	Can the segment sustain work before, during, and after viewing?	At least one productive follow-up task is possible.
Access and format	Can the teacher play the clip reliably and lawfully?	The excerpt is available, legible, and usable in class.

Curricular relevance is the first detailed criterion. The topic of a clip should connect to an established learning objective, such as discussing future plans, narrating events, or evaluating competing viewpoints. The teacher should specify what students will do with the material in German. “Watch a film about school” is an activity, whereas “identify two contrasting views of schooling and support each interpretation with a detail from the scene” is an assessable learning outcome. A scene that produces only plot-recall questions may have less value for a lesson aimed at intercultural interpretation.

Linguistic accessibility is multidimensional. Teachers should consider speech rate, articulation, overlap between speakers, colloquial expressions, visual support, background music, and the amount of information essential to the task. Authenticity need not mean that every utterance is understood. If a clip has a clear visual narrative, learners may infer the main event despite unfamiliar words. Subtitles may aid access, but reliance on a full transcript can change an audiovisual task into a reading task. Short segments and repeated viewing are useful when each replay has a distinct purpose. The Goethe-Institut specifically notes the suitability of short formats and the option of selecting scenes from a feature film.

Cultural and representational value requires careful judgment. A clip can show everyday practices, disagreement, humour, or experiences of people living in German-speaking societies. It should invite questions about the particular people and context represented, not imply that one character stands for an entire country. Teachers can select more than one voice or pair clips to complicate a simplistic generalisation. They

should also check how the material portrays gender, migration, disability, and social difference, and whether students can discuss the subject without being asked to reveal private experiences. This criterion follows the wider CEFR emphasis on pluricultural competence and mediation.

Practical suitability includes running time, image and audio quality, availability, clear provenance, permission for classroom access, and compatibility with the school's equipment. Existing teaching materials can reduce preparation time, but they should be reviewed against the teacher's own objectives. The Goethe-Institut provides a collection of German-film teaching materials, which can serve as a source of candidate texts and activity ideas. The existence of a worksheet does not replace an independent check of age, language, content, and local conditions.

An illustrative selection procedure has four steps. First, state the lesson objective and estimate the learners' current comprehension level. Second, preview two or three candidate clips in full and rule out unsuitable content or unreliable access. Third, apply the matrix to a short excerpt and record which difficulties can be addressed by a glossary, still frames, selective subtitles, or repeated viewing. Fourth, write one question for each viewing stage and a final German-language response task. For example, if the objective is to interpret a disagreement about future plans, students may predict viewpoints before watching, collect verbal and nonverbal evidence during viewing, and explain one participant's perspective afterwards. This example is a model task, not a report of a lesson conducted with students.

The framework's limitation is its dependence on informed teacher judgment. The criteria may conflict: a clip can be culturally rich but linguistically demanding, or easily understood but narrow in perspective. Teachers should document their decisions and observe actual student responses. Future research could compare teachers' ratings of candidate clips, test agreement among raters, and examine whether selected materials support the intended learning outcomes in grades 10 and 11. Until such studies are conducted, the matrix should be used as a transparent planning aid, not as a proven scoring instrument.

Conclusions

Selecting German-language films and videos for grades 10 and 11 requires alignment among learner characteristics, a specific learning objective, the audiovisual text, and the planned task. The most important criteria are age and emotional suitability, linguistic accessibility, cultural and representational value, didactic potential, and practical access. Essential conditions should be screened first; adaptable difficulties may then be addressed through purposeful scaffolding. The proposed matrix offers a transparent way to make and explain selection decisions. Its effectiveness as a classroom tool remains an empirical question.

References

1. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment – Companion Volume. Strasbourg : Council of Europe Publishing, 2020. URL: https://rm.coe.int/common-european-framework-of-

reference-for-languages-learning-teaching/16809ea0d4 (дата звернення: 21.09.2026).
2. Goethe-Institut. Deutsche Filme. Deutschstunde. URL: https://www.goethe.de/prj/dlp/de/unterrichtsmaterial/reihe/deutsche-filme (дата звернення: 21.09.2026).
3. Reissenberger C. Film ab! Goethe-Institut. 2019. URL: https://www.goethe.de/prj/dlp/de/magazin-sprache/21464804.html (дата звернення: 21.09.2026).

UDC 81'37:81'42

EMOTIVITY, EXPRESSIVENESS AND EVALUATIVENESS: A CONTEMPORARY UNDERSTANDING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THESE CATEGORIES

Melnychuk N.O.
Candidate of Philological Sciences, Associate Professor
Department of Foreign Languages for Natural Sciences
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine
ORCID: 0000-0002-8742-1670

In contemporary linguistics, emotivity, expressiveness, and evaluativeness are viewed as interrelated but non-identical characteristics of linguistic semantics and communicative functioning. Their relationship cannot be reduced to a simple division of meaning into separate independent components, since in actual speech emotional response, value-based attitude, and intensity of expression are often formed simultaneously. Recent approaches to emotional meaning emphasize its situational nature: emotional meaning is constructed by what becomes the focus of a speaker's attention, from which perspective an event is construed, and how it is appraised [1, p. 1]. Accordingly, these categories should be analyzed as functionally interconnected but analytically distinguishable parameters of discourse.

The notion of emotivity primarily concerns how emotional experience is represented linguistically. It may be encoded in the semantics of a particular unit or emerge through its contextual use. This is especially important when distinguishing lexical items that directly name emotions from units whose emotionality is activated indirectly through objects and situations associated with emotional experience. The recent distinction between emotion-label words and emotion-laden words shows that both groups carry emotional content but perform different functions in structuring emotional experience: the former categorize it, whereas the latter concretize and situationally instantiate it [2, p. 1285]. Thus, emotivity should be related not only to

the presence of a particular “emotional feature” in dictionary meaning but also to the way that feature is actualized in discourse.

Expressiveness has a different functional orientation. It may be associated with the enhancement of a message’s expressive force, the foregrounding of a particular segment of an utterance, and the organization of its impact on the addressee. An expressive effect may be based on emotional coloring, but it is not exhausted by it: evaluative, figurative, stylistic, or pragmatic characteristics of an utterance may also be intensified. Expressiveness may therefore accompany emotional content while also operating in cases where emotion is not directly verbalized. In this sense, expressiveness primarily concerns the organization of the force and salience of linguistic influence, whereas emotivity concerns the representation of emotional attitude or experience.

Evaluativeness, in turn, is connected with the axiological interpretation of an object. It reflects the correlation of a phenomenon, person, action, or situation with a norm, model, or system of values. Recent Ukrainian research emphasizes the dual nature of evaluation: it combines descriptive content with a subjective modal framework and performs cognitive, communicative-pragmatic, and linguocultural functions [3]. Therefore, evaluativeness cannot be equated with emotionality: a positive or negative characterization may be rationally motivated, whereas an emotional response may emerge only at the level of a particular use of discourse.

The relationship among the three categories is particularly evident in lexical semantics. Studies of Ukrainian language material demonstrate that evaluativeness, expressiveness, and emotionality are often realized within the same linguistic unit, but this does not eliminate their functional differences [4]. The evaluative component answers the question of value qualification; the emotive component concerns the character of emotional attitude; the expressive component concerns the degree and means by which a linguistic message is made more salient. In an individual lexical item, these parameters may coincide, partially overlap, or be activated to different degrees. Such asymmetry is important for interpreting the complex semantics of expressive vocabulary.

An important issue is the distinction between a linguistic unit's potential and its actual communicative effect. A lexical item may possess a stable evaluative or emotional component, yet in a particular context this characteristic may change in intensity, orientation, or interpretation. The ironic use of a positively marked item, the reinterpretation of a neutral designation in a conflictual communicative situation, or a change in emotional tone under the influence of syntactic organization demonstrate that meaning functions as an open system of interaction between lexical material and context. For this reason, analysis should consider not only dictionary definitions but also discursive environment, addressee orientation, and communicative purpose.

Contextual variability is especially evident in semantic structures in which evaluativeness and emotivity interact with imagery. Metaphorical models enable the transfer of characteristics from concrete situations to the domain of emotional experience; at the same time, this transfer changes not only the expressiveness of an

utterance but also how an emotion is conceptualized. A frame-semantic approach shows that metaphorical representations of emotions can be described in terms of the interaction between structured scenarios and frames [5]. This makes it possible to regard imagery not as a peripheral addition to emotional meaning but as one of the mechanisms through which that meaning unfolds.

In Ukrainian media discourse, the interaction of evaluativeness, emotivity, and expressiveness is particularly salient. Recent studies of Ukrainian media demonstrate that evaluative means operate at different linguistic levels and may be explicit or implicit; their communicative effect depends on the broader axiological model of discourse [3]. In such texts, expressiveness provides emphasis and intensification, evaluativeness establishes an axiological perspective, and emotivity shapes the character of the feeling or attitude activated by the utterance. Their combined operation may produce a multidimensional pragmatic effect without the need to directly name the emotion.

It is also important that evaluative and emotional meanings are culturally conditioned. The meaning of a particular evaluation depends on socially accepted norms, values, and communicative expectations, whereas emotional responses may vary with experience and situation. The dynamic view of emotional meaning, developed in recent interdisciplinary studies, supports treating cultural and situational contexts as integral parts of interpretation [1]. This is particularly relevant to contrastive research, in which formally similar evaluative devices may realize different emotional and pragmatic potential in different language communities.

A promising direction for studying the relationship among these categories is to combine componential, contextual, and corpus-based methods. Componential analysis makes it possible to establish the potential composition of a word's semantic structure; corpus analysis reveals actual collocability and the distribution of evaluative and emotive uses; discourse analysis identifies the relationship between a linguistic unit and the communicative situation. Such a methodological combination aligns with the contemporary understanding of emotional meaning as a dynamic phenomenon shaped at the intersection of linguistic, cognitive, social, and cultural factors [1; 4].

Thus, emotivity, expressiveness, and evaluativeness should be treated as interrelated but functionally differentiated parameters of linguistic organization. Emotivity represents emotional attitude or experience, evaluativeness structures the axiological qualification of an object, and expressiveness ensures the enhancement and intensification of a communicative message. In particular discourse, they may produce a complex syncretic effect; nevertheless, distinguishing them remains a necessary condition for an accurate semantic description. This approach opens opportunities for further research into emotional and evaluative vocabulary, media and literary discourse, and the dynamics of meaning in contemporary Ukrainian.

References

1. Hoemann K., Lee Y., Dussault È., Devylder S., Ungar L. H., Geeraerts D., Mesquita B. The construction of emotional meaning in language. Communications Psychology. 2025. Vol. 3. Art. 99. DOI: https://doi.org/10.1038/s44271-025-00255-0.

2. Wu C., Zhang J. Emotion word is an ambiguous concept: dividing, defining, and connecting emotion-label words and emotion-laden words. Cognition and Emotion. 2026. Vol. 40, No. 6. P. 1285–1299. DOI: https://doi.org/10.1080/02699931.2025.2551080.
3. Kryvenchenko D. S. The linguistic category of evaluation and its characteristics in Ukrainian media. Zapiski z ukrayinskoho movoznavstva. 2024. Issue 31. P. 277–287. DOI: https://doi.org/10.18524/2414-0627.2024.31.309448 [in Ukrainian].
4. Udovichenko H. M., Sherstiuk L. V. Correlation of evaluativeness, expressiveness and emotionality. Visnyk Luhanskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Filolohichni nauky. 2024. No. 2 (361). P. 78–85. DOI: https://doi.org/10.12958/2227-2844-2024-2(361)-78-85 [in Ukrainian].
5. Neumair P. A., Gehrecke F. M., Hartmann S., Ziem A. A frame-semantic approach to conceptual metaphors in the domain of emotion. Language and Cognition. 2025. Vol. 17. Art. e6. DOI: https://doi.org/10.1017/langcog.2024.37.

ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ МАЙБУТНЬОГО ПЕДАГОГА В УМОВАХ ЦИФРОВОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Кіндер Дарина
здобувачка вищої освіти магістерського рівня
Кафедра педагогіки початкової, інклюзивної та вищої освіти
Рівненський державний гуманітарний університет, Україна

Анотація. У тезах розглянуто проблему формування критичного мислення майбутніх педагогів в умовах цифрової трансформації освіти. Визначено чотири виклики цифрового середовища для критичного мислення: інформаційне перенасичення, алгоритмічну персоналізацію, поширення синтетичного контенту та когнітивне делегування мислення штучному інтелекту. Показано, що в цифровому середовищі зміст критичного мислення доповнюється латеральним читанням, розпізнаванням маніпулятивного контенту, критичною ШІ-грамотністю та цифровою метакогніцією. Обґрунтовано п’ять педагогічних умов його формування: перетворення штучного інтелекту з інструменту на об'єкт аналізу; систематичну верифікацію інформації на фаховому матеріалі; проєктування завдань, стійких до когнітивного делегування; поєднання проблемного навчання з роботою з цифровими даними; прозорі правила використання цифрових інструментів і цифрову рефлексію.

Ключові слова: штучний інтелект; критична ШІ-грамотність; медіаграмотність; когнітивне делегування; верифікація інформації; професійна підготовка вчителя.

Введення. Цифрова трансформація освіти, пришвидшена пандемією та повномасштабною війною, зробила цифрове середовище не допоміжним, а основним простором навчання для значної частини здобувачів вищої освіти. Лекції, консультації, пошук інформації, виконання завдань і комунікація з викладачем відбуваються здебільшого онлайн. Паралельно генеративний штучний інтелект за кілька років перетворився з технологічної новинки на повсякденний інструмент студента: він пише тексти, розв'язує задачі, генерує конспекти уроків і методичні розробки.

Для формування критичного мислення ця ситуація має парадоксальний характер. З одного боку, цифрове середовище відкриває безпрецедентний доступ до джерел, даних і різних точок зору, тобто створює ідеальний матеріал для аналізу й зіставлення. З іншого боку, воно ж продукує інформаційне перенасичення, алгоритмічно відфільтровану картину світу, синтетичний контент, який важко відрізнити від справжнього, і – найголовніше – можливість делегувати мислення машині. В умовах гібридної війни, коли дезінформація є зброєю, ця проблема набуває безпекового виміру.

Для педагога вона має ще й професійний вимір: майбутній учитель має не лише сам критично мислити в цифровому середовищі, а й навчити цього дітей, які входять у цифровий світ раніше, ніж набувають здатності його оцінювати. Отже, виникає суперечність між зростанням когнітивних викликів цифрового середовища та збереженням традиційних, доцифрових підходів до формування критичного мислення в професійній підготовці педагогів.

Проблему розвитку критичного мислення студентів в освітньому процесі сучасного закладу вищої освіти розглянули І. Єгорова, О. Савчук і Н. Салига [1]. Ефективність проблемного навчання для формування аналітичних, рефлексивних та аргументаційних умінь майбутніх викладачів обґрунтували В. Кулішов і К. Фесенко [3]. Безпосередньо цифровий вимір проблеми досліджено у працях О. Клочко, яка з'ясувала, що 92,2 % опитаних майбутніх учителів інформатики та математики використовують або планують використовувати засоби штучного інтелекту в навчанні, і водночас указала на ризик надмірної довіри до них та зниження ролі власного досвіду [2]. Г. Скрипка на основі тестування педагогів встановила, що більшість із них має труднощі з розпізнаванням контенту, згенерованого штучним інтелектом, і потребує спеціальної підготовки з медіаграмотності [4]. У зарубіжних дослідженнях A. Essien та співавторів проаналізовано вплив генераторів тексту на основі ШІ на навички критичного мислення студентів [5], а S. von Gillern та співавтори дослідили уявлення майбутніх учителів про медіаграмотність і цифрове громадянство [6].

Отже, науковці фіксують як потенціал, так і ризики цифрового середовища для критичного мислення. Проте здебільшого ці аспекти розглядаються окремо – або як можливості цифрових інструментів, або як загрози. Питання про те, як саме має змінитися зміст і методика формування критичного мислення

майбутнього педагога, щоб цифрове середовище стало його ресурсом, а не чинником атрофії, залишається відкритим.

Мета та завдання дослідження – визначити специфіку критичного мислення в цифровому освітньому середовищі та обґрунтувати педагогічні умови його формування в процесі професійної підготовки майбутніх педагогів.

Результати дослідження і їх обговорення. Цифрове освітнє середовище впливає на критичне мислення не нейтрально. Виокремлюємо чотири виклики, кожен з яких потребує окремої педагогічної відповіді.

Перший виклик – інформаційне перенасичення. Обсяг доступної інформації перевищує можливості її ретельної перевірки. У відповідь людина природно переходить до евристик – довіряє першому результату пошуку, авторитетному вигляду сайту, кількості переглядів. Критичне мислення як повільна, енергозатратна обробка інформації програє швидким інтуїтивним оцінкам.

Другий виклик – алгоритмічна персоналізація. Стрічки соціальних мереж і пошукові системи добирають контент відповідно до попередньої поведінки користувача. У результаті людина дедалі частіше стикається з інформацією, що підтверджує її погляди, і дедалі рідше – з тією, що їм суперечить. Критичне мислення, яке передбачає розгляд альтернативних позицій, позбавляється матеріалу.

Третій виклик – синтетичний контент. Генеративні моделі створюють тексти, зображення, аудіо й відео, які складно відрізнити від справжніх. Традиційні ознаки достовірності – грамотність тексту, якість зображення, «професійний» вигляд – втрачають діагностичну цінність.

Четвертий виклик – когнітивне делегування. Найглибший і найменш усвідомлений виклик. Коли ШІ надає готову, граматично бездоганну, логічно впорядковану відповідь, у людини виникає ілюзія розуміння без власної розумової роботи. Критичне мислення не розвивається там, де воно не потрібне. Ризик, на який указує О. Клочко, – надмірна довіра до ШІ та зниження ролі власного досвіду [2] – у педагогічній освіті особливо небезпечний: учитель, який звик делегувати мислення, не зможе навчити мислити дітей.

Базові складники критичного мислення – аналіз, оцінювання, умовивід, пояснення, саморегуляція – зберігають свою значущість. Проте в цифровому середовищі вони потребують доповнення чотирма специфічними вміннями.

Перше – латеральне читання: оцінювання джерела не за його власним вмістом, а через перевірку того, що про нього пишуть інші незалежні джерела. На відміну від традиційного «вертикального» аналізу тексту, цей прийом дозволяє швидко виявити сумнівне джерело, яке зовні виглядає переконливо.

Друге – розпізнавання синтетичного та маніпулятивного контенту: знання типових ознак згенерованих матеріалів, уміння користуватися інструментами перевірки фактів і зворотного пошуку зображень. Дані Г. Скрипки засвідчують, що саме цього вміння бракує більшості педагогів [4].

Третє – критична ШІ-грамотність: розуміння принципів роботи генеративних моделей, їх здатності впевнено продукувати неправдиві

твердження, неможливості сприймати відповідь ШІ як джерело без перевірки. Сюди належить і вміння формулювати запити так, щоб отримувати не готову відповідь, а матеріал для власного аналізу.

Четверте – цифрова метакогніція: здатність відстежувати власну поведінку в цифровому середовищі – помічати, коли довіряєш джерелу лише через зручність, коли алгоритм нав'язує порядок денний, коли використання ШІ замінює власне мислення, а не підтримує його.

Для майбутнього педагога критичне мислення в цифровому середовищі має подвійну функцію. По-перше, учитель – користувач, який оцінює цифрові освітні ресурси, методичні розробки з інтернету, згенеровані ШІ конспекти й завдання. Значна частина такого контенту містить фактичні та методичні помилки, невідповідність віковим особливостям, некоректні формулювання, і вчитель має бути здатен їх виявити до того, як вони потраплять на урок. По-друге, учитель – той, хто формує в дітей основи цифрової грамотності в початковій школі, коли звичка некритично сприймати цифровий контент лише закладається.

На основі проведеного аналізу визначаємо п'ять педагогічних умов формування критичного мислення майбутніх педагогів у цифровому освітньому середовищі.

Перша умова – перетворення штучного інтелекту з інструменту на об'єкта критичного аналізу. Заборона ШІ в освітньому процесі нереалістична й контрпродуктивна. Продуктивніше систематично використовувати його відповіді як матеріал для перевірки: «знайдіть помилки в згенерованому конспекті уроку», «порівняйте відповідь ШІ з першоджерелом», «визначте, що в цій методичній рекомендації не відповідає віковим особливостям молодших школярів». Такі завдання формують звичку ставитися до відповіді ШІ як до гіпотези, що потребує перевірки, а не як до готового знання.

Друга умова – систематична практика верифікації інформації на фаховому матеріалі. Уміння перевіряти інформацію не формується в межах одного тренінгу з медіаграмотності. Його треба регулярно застосовувати в педагогічних, психологічних і методичних дисциплінах: перевіряти походження популярних «фактів» про розвиток дитини, аналізувати достовірність джерел для курсових робіт, оцінювати методичні матеріали з освітніх платформ.

Третя умова — проєктування завдань, стійких до когнітивного делегування. Якщо завдання можна повністю виконати за допомогою ШІ без власної розумової роботи, воно не формує критичного мислення. Стійкими є завдання, що вимагають аналізу конкретного, локального контексту (власного педагогічного досвіду, ситуації конкретного класу на практиці), обґрунтування вибору серед кількох варіантів, усного захисту позиції, демонстрації ходу міркування, а не лише результату. Відповідно, оцінювання має зміщуватися з продукту на процес.

Четверта умова – поєднання проблемного навчання з роботою з цифровими даними. Проблемні ситуації з неповною, суперечливою або свідомо

маніпулятивною цифровою інформацією — наприклад, аналіз вірусного допису про «шкоду» чи «користь» певної освітньої методики — моделюють саме ті умови, у яких майбутньому вчителеві доведеться ухвалювати рішення. Ефективність проблемного навчання для розвитку критичного мислення підтверджено дослідженнями [3].

П’ята умова – прозорі правила використання цифрових інструментів і цифрова рефлексія. Студенти мають чітко знати, у яких завданнях і в якій формі використання ШІ допустиме, а також зазначати, як саме вони його використали. Рефлексивні завдання – «що я перевірив самостійно, що прийняв на віру і чому» – розвивають цифрову метакогніцію та формують відповідальне ставлення до власного мислення.

Слід пам’ятати: формування критичного мислення в цифровому середовищі має уникати двох крайнощів. Техноптимізм, який вважає цифрові інструменти самодостатнім засобом розвитку мислення, ігнорує ризик когнітивного делегування. Технофобія, яка зводить цифрове середовище до переліку загроз, позбавляє студентів можливості навчитися працювати в тих умовах, у яких вони житимуть і працюватимуть. Мета полягає не в тому, щоб захистити майбутнього педагога від цифрового середовища, а в тому, щоб навчити його мислити в ньому самостійно.

Висновки. Отож, цифрове освітнє середовище водночас створює безпрецедентні можливості для розвитку критичного мислення та загрожує його атрофією через інформаційне перенасичення, алгоритмічну персоналізацію, поширення синтетичного контенту й можливість когнітивного делегування. У цих умовах зміст критичного мислення майбутнього педагога доповнюється латеральним читанням, розпізнаванням синтетичного та маніпулятивного контенту, критичною ШІ-грамотністю й цифровою метакогніцією. Професійна специфіка полягає в подвійній ролі вчителя – користувача цифрових ресурсів і того, хто закладає основи цифрової грамотності в дітей. Формування критичного мислення забезпечується сукупністю педагогічних умов: перетворенням ШІ з інструменту на об’єкт аналізу; систематичною практикою верифікації на фаховому матеріалі; проєктуванням завдань, стійких до когнітивного делегування; поєднанням проблемного навчання з роботою з цифровими даними; прозорими правилами використання цифрових інструментів і цифровою рефлексією.

Список використаних джерел

1. Єгорова, І., Савчук, О., & Салига, Н. (2024). Розвиток критичного мислення студентів в освітньому процесі сучасного ЗВО. Актуальні питання гуманітарних наук, 77(1), 269-277. https://doi.org/10.24919/2308-4863/77-1-38
2. Клочко, О. (2024). Розвиток критичного мислення майбутніх вчителів інформатики та математики з використанням засобів штучного інтелекту. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми, 72, 14-26. https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-14-26

3. Кулішов, В. С., & Фесенко, К. В. (2026). Розвиток критичного мислення майбутніх викладачів закладів вищої освіти засобами проблемного навчання. Імідж сучасного педагога, (4(229)), 42-46. https://doi.org/10.33272/2522-9729-2026-4(229)-42-46
4. Скрипка, Г. В. (2025). Штучний інтелект та медіаграмотність: оновлення програм підвищення кваліфікації педагогів. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету, (18), 132-144. https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.1811
5. Essien, A., Bukoye, O. T., O'Dea, X., & Kremantzis, M. (2024). The influence of AI text generators on critical thinking skills in UK business schools. Studies in Higher Education, 1-18. https://doi.org/10.1080/03075079.2024.2316881
6. von Gillern, S., Korona, M., Wright, W., Gould, H., & Haskey-Valerius, B. (2024). Media literacy, digital citizenship and their relationship: Perspectives of preservice teachers. Teaching and Teacher Education, 138, 104404. https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104404

FACTORS AND PRINCIPLES IN TEACHING LANGUAGES, TRANSLATION, AND INTERPRETING

Bolbit Yuliia
Master's Student
Department of English Philology and Translation
Horlivka Institute for Foreign Languages
State Higher Educational Institution
"Donbas State Pedagogical University", Ukraine

Modern applied linguistics distinguishes between generic language teaching and specialised translation and interpreting (T&I) pedagogy (Cerezo Herrero et al., 2021, pp. 141–142). While language education builds communicative competence in a second language (L2), T&I training develops mediated transfer competence—the ability to decode, transform and re-encode meaning across cognitive-linguistic systems (Crespillo, 2024, p. 112). Within Applied Translation Studies, translator and interpreter training operate as a distinct subbranch focusing on this professional, interlingual mediation (Li, 2024, p. 45).

A primary factor in T&I didactics is directionality: whether students translate from their weaker language (L2/B-language) into their native tongue (L1/A-language) or vice versa (Chen, 2006, p. 12). Traditional Western models prioritise L2–L1 processing to assure natural target-language production under high cognitive load (Chen, 2006, pp. 44–46). Conversely, Eastern models and global market demands frequently require retour interpreting (L1–L2), necessitating specialised instructional strategies to handle L2 delivery (Chen, 2006, pp. 44–46).

Interpreting is heavily constrained by working memory limitations. Instructors manage these constraints using Gile's Effort Models, which segment cognitive processing into four interconnected domains:

- The Listening and Analysis Effort: Auditory decoding and semantic processing.
- The Memory Effort: Retaining temporary chunks of source information.
- The Production Effort: Synthesising syntactic and phonetic target output.
- The Coordination Effort: Managing cognitive resource allocation between the other tasks.

Furthermore, training must address high student anxiety and help educators balance active industry practice, institutional research requirements, and teaching duties (Liu & Liu, 2024, pp. 1–11).

Socio-political shifts and migration patterns have shifted T&I classrooms toward humanitarian and community interpreting, which requires an emotive, empathetic didactic approach (Crespillo, 2024, p. 115). Concurrently, the emergence of generative AI demands that curricula evolve from teaching basic text generation to cultivating advanced professional competencies (Robin, 2024, pp. 110–112). Contemporary programs must emphasise post-editing, prompt engineering, and quality assurance to prepare graduates for a rapidly changing, technology-driven market (Alkhawaja, 2023, p. 102; Robin, 2024, pp. 110–112).

Language teaching focuses on linguistic and pragmatic fluency within a single language frame, but T&I didactics requires multicomponent translation competence (Zou, 2015, p. 191). Modern instruction rejects the idea that translation is an innate byproduct of natural bilingualism, treating it instead as an explicit configuration of linguistic, strategic, and domain-specific subcompetences (Al-Melhi, 2021, p. 15; Zou, 2015, p. 191).

Rooted in psycholinguistic learning theories, interpreting pedagogy relies on a top-down progression from conscious processing to automated speech generation (Popova, 2023, p. 45). Students practice isolated micro-skills—such as chunking and sight translation—before advancing to full simultaneous tasks (Popova, 2023, p. 48). Additionally, incorporating structured prosodic studies teaches students how speech rhythms and intonation convey intent, allowing them to regulate their own vocal delivery to maintain diplomatic neutrality and authority (Bogush et al., 2019, pp. 13–14).

To bridge theory and practice, modern programs utilise situated learning project models (González-Davies & Enríquez Raído, 2018, p. 1). Trainees operate within highly simulated or real-world environments—handling authentic client briefs, collaborating on cloud platforms, using computer-assisted translation tools, and meeting strict deadlines (González-Davies & Enríquez Raído, 2018, p. 1; Taebi, 2024, p. 75). This structural approach fosters critical thinking, collaborative problem-solving, and professional ethics (Li & Ouyang, 2024, pp. 828–830; Taebi, 2024, p. 82).

Teaching languages, translation, and interpreting requires a multi-layered curriculum that balances foundational language proficiency with adaptive cognitive and technological strategies. As artificial intelligence and global demographics reshape intercultural communication, pedagogical models must move past rote translation.

By integrating cognitive automation, prosodic control, and ecologically situated learning, modern educators ensure that human translators and interpreters develop the professional resilience required to remain irreplaceable industry anchors. The key factors and principles discussed above are summarised in Figure 1.

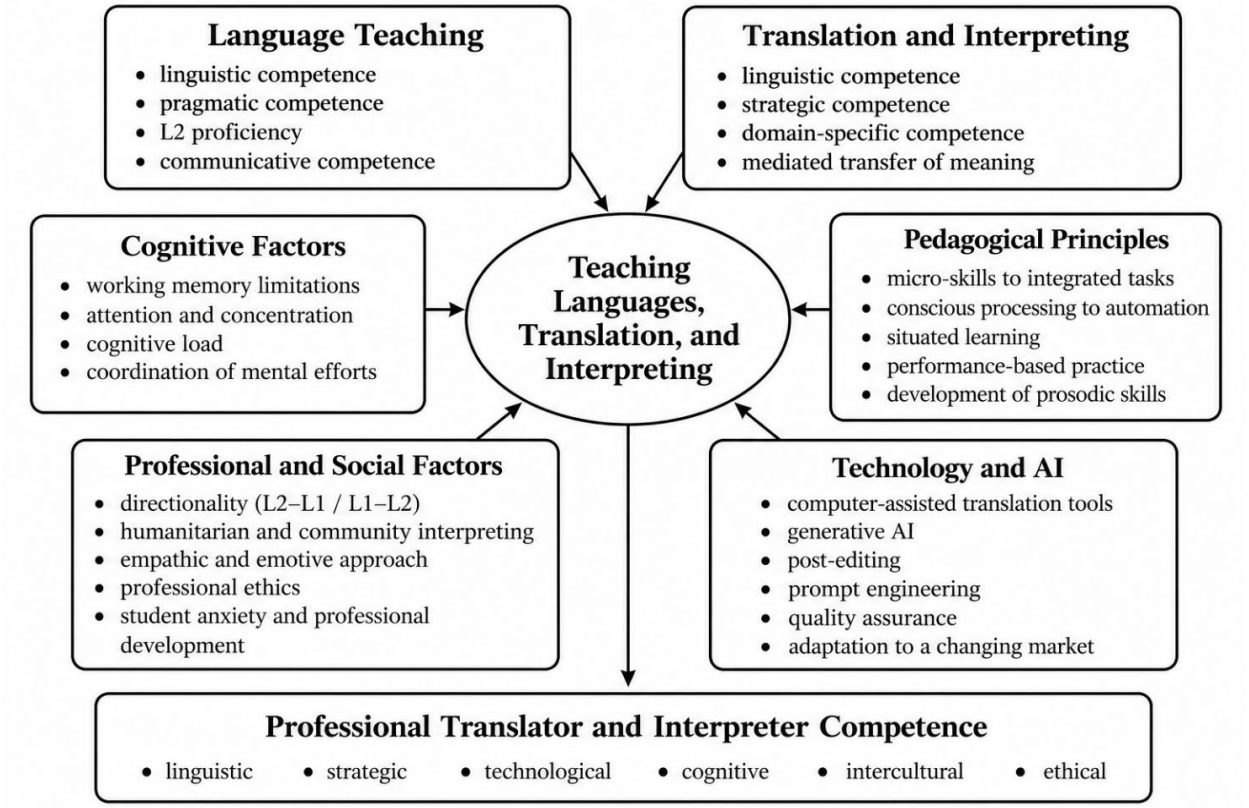

Figure 1. Key Factors and Principles in Teaching Languages, Translation, and Interpreting

The framework presented in Figure 1 illustrates the interconnected factors underlying contemporary approaches to language, translation, and interpreting education. Their integration supports the development of professional competence across linguistic, cognitive, pedagogical, technological, intercultural, and ethical dimensions.

References

1. Al-Melhi, A. (2021). Pedagogical implications of utilizing translation evaluation strategies with translation students: Toward a model of teaching T. Arab World English Journal for Translation and Literary Studies, 5(3), 14–29. https://awej.org/images/AllIssues/Specialissues/Translation3/2.pdf
2. Alkhawaja, L. (2023). Effective pedagogical practices for teaching translation courses online in the post-COVID-19 era. Journal of Language and Linguistic Studies, 19(2), 102–115. https://www.researchgate.net/publication/369738174_Effective_Pedagogical_Practices_for_Teaching_Translation_Courses_Online_in_the_Post-COVID-19_Era
3. Bogush, A., Korolova, T., Popova, O. (2019). Development of the future translators' professional competency in bilateral interpreting: Modern methods. Advanced Education, 6(11), 10–21. https://doi.org/10.20535/2410-8286.156577

4. Cerezo Herrero, E., Schmidhofer, A., Koletnik, M. (2021). An LSP framework for translation and interpreting pedagogy. Revista de Lenguas para Fines Específicos, 27(1), 140–156. https://doi.org/10.20420/rlfe.2021.441
5. Chen, T. (2006). Directionality in simultaneous interpreting: A validation study of standard practices and market realities (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan. https://open.unive.it/hitrade/books/Yu-MeiDirectionality.pdf
6. Crespillo, M. P. A. (2024). Interactive didactics of translation and interpreting: Emotive approach applied to migrant care in German, Spanish, Arabic and Russian languages. E-Journal of Portuguese and Spanish Intercultural Relations, 1(2), 112–128. https://www.researchgate.net/publication/385632373_Interactive_didactics_of_translation_and_interpreting_emotive_approach_applied_to_migrant_care_in_German_Spanish_Arabic_and_Russian_languages_Didactica_interactiva_de_la_traduccion_e_interpretacion_un
7. González-Davies, M. and Enríquez Raído, V. (2018). Situated learning in translator and interpreter training: Bridging research and good practice. Situated Learning in Translator and Interpreter Training, 1–11. https://doi.org/10.4324/9780203732304-1
8. Li, X. (2024). Updating the training subbranch of the Translation Studies map. Dialnet Review of Translation Studies, 14(2), 45–58. https://www.researchgate.net/publication/397264765_Updating_the_Training_Subbranch_of_the_Translation_Studies_Map
9. Li, Z. and Ouyang, X. (2024). Bridging theory and practice: Integrating objectivist–constructivist pedagogy in medical translation education. Education Sciences, 14(6), 828–842. https://www.mdpi.com/2227-7102/16/6/828
10. Liu, Y. and Liu, J. (2024). Translation and interpreting teachers' perceptions of dilemma and needs in their professional development. PLOS ONE, 19(3), e0289269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289269
11. Popova, O. (2023). Theoretical and applied foundations for translators' professional activities. South Ukrainian National Pedagogical University.http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/17217/1/Popova%20Oleksandra%20Volodymyrivna.pdf
12. Robin, E. (2024). Thriving in the language industry: Career trajectories and market realities for T&I graduates. Central European Journal of Educational Alternatives, 26(1), 110–125. https://www.akjournals.com/view/journals/084/26/S/article-p110.xml
13. Taebi, E. (2024). Performance-based instruction and assessment in translation pedagogy. Cadernos de Tradução, 44(1), 75–92. https://periodicos.ufsc.br/index.php/traducao/article/view/102764
14. Zou, Y. (2015). The constitution of translation competence and its implications on translator education. In Proceedings of the 2015 International Conference on Arts, Design and Contemporary Education, 191–195. Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/icadce-15.2015.191

TRANSFERABLE SKILLS IN HIGHER EDUCATION UNDER MARTIAL LAW

Babych Maryna
Senior Lecturer
Samar Olena
Senior Lecturer
Furmanchuk Nataliia
Senior Lecturer
Foreign Language Department
National Transport University
Kyiv, Ukraine

The contemporary world is undergoing rapid and continuous transformation. The labour market, in turn, is experiencing significant structural change, with automation and digitalization reshaping the professional landscape. Possessing professional knowledge and skills alone is no longer sufficient for successful career development, even though academic programs are traditionally oriented toward the transmission of theoretical knowledge and practical competencies directly related to students' future professions. Soft skills – commonly referred to as "flexible" or "transferable" skills – are of equal importance, encompassing a broad range of competencies that enable effective interpersonal interaction, rapid adaptation to changing conditions, and sound decision-making in complex circumstances. Accordingly, the training of future specialists must be directed not only toward the development of general and specialized competencies but also toward universal skills essential for functioning in a dynamic society and critical to successful lifelong learning.

Soft skills are not the kind of knowledge that can be acquired from a textbook. Rather, they are the outcome of life experience, interpersonal interaction, and continuous self-improvement. They enable individuals to build strong relationships, work effectively within a team, and achieve success across various spheres of life. Although no single, universally accepted definition of soft skills exists, they are generally associated with emotional intelligence, communicative abilities, and the capacity to adapt to change. The following section examines in greater detail some of the soft skills that are of particular importance for second-cycle (master's level) higher education students who are either seeking employment or are already engaged in professional work.

Communication skills constitute an integral component of any profession. Even in occupations cantered on data analysis or the conduct of experiments, specialists must nonetheless interact with colleagues, clients, and management. The ability to articulate one's thoughts clearly and coherently, to listen attentively to others, and to find common ground – taking into account the characteristics of the audience and the context of communication – is a key determinant of success in any professional field.

Proficiency in foreign languages is of particular importance in this regard, as many companies today operate within the international market [2].

The contemporary labour market demands flexibility and readiness for change from employees. Companies seek individuals capable of rapidly adapting to new conditions and performing a diverse range of tasks that require various skill sets. Flexibility, in this context, is not merely the capacity to undertake additional responsibilities, but rather a genuine willingness toward continuous development and self-improvement. Such flexibility opens up considerable opportunities for career advancement and enables employees to remain competitive within the labour market [1].

Critical thinking involves more than the ability to analyse information; it constitutes a mode of thinking that enables individuals to make well-founded decisions and address problems effectively. The development of critical thinking requires sustained and consistent practice. Engaging with diverse literature, participating in discussions, and solving complex problems all contribute to cultivating this essential skill among students. Nevertheless, the development of critical thinking may be impeded by a fear of making mistakes. It is therefore essential for students to remain open to new information, to critically examine their own biases, and to engage with individuals holding differing perspectives.

Although many individuals describe themselves as "team players" in their résumés, this concept carries a much deeper meaning. In our view, being a team player entails more than simply working within a collective; it requires actively contributing to the team's success. Genuine team players are not afraid to voice their opinions, even when these diverge from the views of the majority. It is precisely through the diversity of perspectives fostered by active learning formats – such as discussions, debates, role-playing exercises, and group work – that master's students are able to arrive at creative solutions and achieve superior outcomes [3].

As for the contemporary pace of life, it frequently engenders a sense of perpetual haste. Stress, fatigue, and burnout have become constant companions in daily life. Developing resilience is essential for coping with these challenges. Stress resilience refers to the ability to maintain composure and effectiveness even in difficult circumstances. It should be noted that our country is currently experiencing exceptionally difficult times under martial law, during which the educational process frequently takes place amid the sound of explosions, in shelters, or remotely. The development of soft skills among higher education students – particularly those at the second (master's) level – remains critically important, as these individuals will constitute the driving force behind society's future development and will be entering the labour market in the near term. In our opinion, the effective cultivation of these skills under such challenging conditions requires the active application of methods such as problem-based learning, business simulations, project-based approaches, and research-oriented methodologies.

The project-based methodology is an instructional approach that involves students independently completing a designated task in accordance with a clearly defined plan. This process encompasses the resolution of exploratory, research-oriented, or practical

tasks, along with the mandatory presentation of the results obtained. The application of project-based methodology enables students to consciously and independently select a research direction, to elaborate research questions in detail, and to plan their work both individually and in groups (teams). This, in turn, fosters the development of leadership qualities, the formation of teamwork skills, the ability to manage time effectively, and confidence in delivering presentations – all of which contribute to enhancing communicative competence.

The problem-based method relies on the creation of problem situations, the formulation of problem-oriented questions, and the organization of active, independent student activity aimed at resolving them. The application of this method stimulates active cognitive engagement and develops the ability to acquire knowledge independently through inquiry – both of which are essential components of adaptability and leadership.

Business simulation games, by modelling professional activity, provide diverse means of motivation and facilitate knowledge acquisition. They develop skills in collaborative decision-making, communication, consideration of others' viewpoints, interpersonal interaction, self-presentation, and motivation toward achieving results. The outcome of such games depends on the participant's preparation, abilities, endurance, and capacity for teamwork. Inquiry-based learning – including participation in academic clubs, conferences, webinars, master classes, and competitions – enables students to acquire new knowledge and develops the ability to work on projects, conduct research, plan activities, present themselves and their work, engage in self-reflection, and participate in discussion [4].

Contemporary technologies open up new possibilities for learning. Video recording, in particular, makes it possible to transform any presentation into valuable learning material. By recording one's own presentation, speech, or discussion, it becomes possible to analyse one's behaviour, body language, and content in detail. This enables the identification of errors, the practice of new skills, and the achievement of noticeable progress. Software tools such as Viso further enhance the effectiveness of this process, providing instructors and students with a broad range of tools for creating and analysing video material. The methods outlined above contribute to the development of soft skills essential both in academic contexts and in everyday life.

The development of soft skills is a continuous process that persists throughout one's lifetime. Nevertheless, the years spent studying at a higher education institution constitute the most favourable period for cultivating these skills, as it is during this time that students acquire new knowledge, encounter diverse individuals, and find themselves in novel situations that foster their personal and professional development. By investing in the development of soft skills today, we are, in effect, investing in the successful future of our country.

Furthermore, it is important to bear in mind that under the conditions of martial law currently facing Ukraine, soft skills acquire even greater significance. The capacity for rapid adaptation, stress resilience, the ability to function under crisis conditions, empathy, and the capacity to support others are all critically important for successful adjustment to new realities and for the country's future reconstruction.

Accordingly, the development of soft skills among higher education students represents not only an investment in their personal future, but also a significant contribution to the future of Ukraine.

References

1. Hien V. N. (2022). The Importance of Teaching Soft Skills to Senior Students: A Case Study of FPT. University Journal of Positive School Psychology. 2022. Vol. 6, No. 6, Pp. 6076 – 6084. URL: http://journalppw.com
2. Kasim, U., Muslem, A., & Mustafa, F. (2022). The effect of learning by teaching on soft-skill improvement among undergraduate students. European Journal of Educational Research, 11(3), 1337-1348. URL: https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.3.1337
3. Ostafiychuk O.D. (2018). Developing Soft Skills in University Students. Modern scientific researches. 2018. Issue 4. Vol. 2. DOI: 10.30889/2523-4692.2018-04-02-038
4. Romanenko Yu., Stepanova M. & Maksimenko N. (2024) Soft skills: students and employers crave. Humanities and Social Sciences Communications. 2024 URL: https://doi.org/10.1057/s41599-024-03250-8

ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ ТА НАУЦІ. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ

Андрєєв Олександр Вікторович
к.мед.н.
Тагунова Ірина Кимівна
к.мед.н.
Кафедра оториноларингології
Одеський національний медичний університет, Україна

Різні напрямки науки та вищої освіти в сучасних умовах потребують оновлених методологічних підходів до планування та управління проєктами в цих сферах. Корисним є аналіз практичного досвіду України, що перебуває в умовах війни, та стабільного, збалансованого середовища у Сполучених Штатах Америки. Таке зіставлення важливе для обміну знаннями з метою забезпечення наукових досліджень та освітніх інновацій.

Метою роботи є аналіз досвіду науковців України та Сполучених Штатів Америки, визначення труднощів, з якими вони стикаються, а також розробка практичних рекомендацій щодо впровадження отриманих результатів у систему планування та управління проєктами у сфері вищої освіти й науки.

Матеріалом дослідження стали традиційні методології управління (Waterfall), концепції проєктних офісів (PMO), а також гнучкі підходи (Agile, Scrum). В умовах глибокого реформування системи вищої освіти та науки України, яка водночас долає виклики воєнного стану, адаптація найкращих

світових практик управління проєктами є критично важливою для інтеграції країни в європейський та світовий дослідницький простір.

Ключовим елементом американського досвіду є функціонування розвиненої мережі університетських проєктних офісів. В Україні розвиток управління проєктами в академічній сфері тривалий час стримувався надмірною централізацією. Сучасний вітчизняний досвід має свої унікальні риси, зумовлені необхідністю адаптації до умов кризи та воєнного стану. Серед них - потреба у гнучкості й антикризовому менеджменті, активне впровадження грантового менеджменту як драйвера змін, а також подолання проблеми кадрового дефіциту.

Порівнюючи виклики, можна констатувати: якщо для американських колег основними труднощами є жорстка конкуренція за фінансування, а також складні етичні й регуляторні вимоги до комерціалізації біотехнологій, то для українських учених — це питання фізичної безпеки, браку базових ресурсів, інституційної нестабільності та подолання застарілих пострадянських підходів усередині університетів.

Висновки:

1. Інноваційний розвиток проєктного менеджменту у сфері вищої освіти та науки вимагає відмови від жорстких ієрархічних моделей на користь гібридних підходів. Останні дозволяють ефективно поєднувати структурну стабільність класичних методологій із адаптивністю та гнучкістю інструментів Agile та Scrum.

2. Досвід США доводить необхідність створення в українських закладах вищої освіти автономних університетських проєктних офісів (PMO) як інструменту реформування системи внутрішнього менеджменту. Водночас унікальний вітчизняний досвід антикризового управління в умовах війни (мінімізація форс-мажорних ризиків, екстремальна цифровізація, віддалений менеджмент розподілених команд) є цінним матеріалом для глобальної теорії проєктного менеджменту та може бути успішно інтегрований у міжнародну практику.

Ключові слова: управління проєктами, вища освіта та наука, університетський проєктний офіс (PMO), Agile, цифровізація, порівняльний аналіз, Україна, США.

Список використаних джерел

1. Буркінський Б. В., Лазарєва Є. В. Проєктний менеджмент в академічному середовищі: виклики воєнного стану та євроінтеграція. Економіка та управління. 2024. № 2. С. 45–53.
2. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. 13th ed. John Wiley & Sons, 2022. 848 p.
3. Олійник О. М. Трансформація вищої освіти України: від централізованого управління до гнучких методологій. Вища освіта України. 2025. № 1. С. 12–19.
4. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 7th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 275 p.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.012.293-304

FROM LANGUAGE SUPPORT TO ACADEMIC INTEGRATION: GENERATIVE AI IN ACADEMIC ENGLISH EDUCATION FOR CHINESE PhD STUDENTS IN UKRAINE

Kovalenko Oksana Yuriivna
PhD in Philology, Associate Professor
Hontarenko Iryna Serhiivna
PhD in Pedagogy, Associate Professor
Department of Pedagogy, Foreign Philology and Translation
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

Abstract. The article provides a theoretical and methodological substantiation of the pedagogical potential of generative artificial intelligence (GenAI) in Academic English education for Chinese PhD students studying at Ukrainian higher education institutions. The problem is shaped by the convergence of three developments: the internationalisation of doctoral education, increasingly demanding expectations for English-medium research communication, and the rapid normalisation of generative language models in academic writing practices. Drawing on a critical synthesis of recent scholarship in English for Academic and Research Purposes, international student adaptation, Chinese students' multilingual practices, doctoral writing pedagogy and GenAI-assisted writing, the study argues that language support should not constitute the final pedagogical purpose of AI use. A four-level model, four stages: Language Support, Academic Literacy, Critical AI Literacy, and Academic Integration, is proposed. Within the model, GenAI gradually changes its role from a linguistic mediator and local editing assistant to a resource for metacognitive scaffolding, critical comparison of alternatives and preparation for autonomous participation in international academic communication. Five pedagogical zones of GenAI use are specified: engagement with research literature; development of academic vocabulary and rhetorical patterns; planning, drafting and revising academic texts; preparation for oral research communication; and reflection on authorship, evidence, transparency and academic integrity. Particular attention is given to the situation of Chinese doctoral researchers, including movement between Chinese and English, differences in academic rhetorical conventions, unequal access to global and domestic AI platforms, and the risk of technological dependency. The paper introduces the principle of pedagogical fading of AI assistance: as the doctoral researcher's competence grows, direct text generation should decrease while verification, reasoned rejection of AI suggestions and independent authorial decision-making should increase. The model offers a framework for designing Academic English for Researchers, English for Research Publication Purposes and academic adaptation

courses for international doctoral students in Ukrainian universities. The contribution is conceptual and methodological and is intended for subsequent empirical validation in authentic doctoral education settings.

Keywords: generative artificial intelligence, Academic English, Chinese PhD students, academic integration, academic writing, AI literacy, higher education, Ukraine.

Introduction. The internationalisation of doctoral education has changed the linguistic and communicative profile of contemporary universities. Doctoral researchers are expected not only to produce disciplinary knowledge but also to participate in transnational scholarly communication: read research literature, formulate research problems, write abstracts and articles, respond to reviewers, present findings, network at conferences and negotiate meaning with supervisors and peers. English remains a major language of these practices, which makes Academic English and English for Research Publication Purposes (ERPP) especially significant for international doctoral researchers. For Chinese PhD students studying outside China, academic participation may involve movement among Chinese, English and the language of the host environment. Recent research with Chinese doctoral students shows that GenAI can reduce language barriers and increase confidence, but also creates tensions between linguistic assistance and long-term intellectual and linguistic development (Zhang et al., 2026).

In Ukrainian higher education, the issue acquires an additional dimension. Universities seek to preserve and expand international education while operating in conditions of war, displacement, unstable infrastructure and accelerated digitalisation. International doctoral researchers may participate in programmes physically, online or in hybrid formats. Under these circumstances, digital tools can compensate for discontinuities in access to teachers, peers, libraries and language support; however, they can also intensify isolation if technology replaces rather than facilitates participation in an academic community. Therefore, the pedagogical problem is not whether Chinese doctoral researchers should use GenAI, but how such use can be organised so that it supports the development of academic agency rather than outsourcing the intellectual work of doctoral study.

The appearance of ChatGPT and subsequent large language models has made this problem urgent. GenAI can provide immediate explanations, reformulate sentences, suggest structures, simulate feedback, generate examples and translate between languages. UNESCO guidance emphasises that educational uses of GenAI require a human-centred approach, protection of agency, critical evaluation, transparency and institutional capacity rather than unregulated substitution of human judgement (Miao & Holmes, 2023). For doctoral education, these tensions are particularly consequential because dissertations and related publications must demonstrate the researcher’s own contribution, reasoning and scholarly voice. Recent doctoral-writing research therefore treats GenAI not as a replacement for scholarly judgement but as a tool whose use must remain transparent, critically supervised and bounded by human responsibility (Wu et al., 2026; Rafi & Khalil, 2026).

Analysis of recent research and publications. Recent scholarship relevant to the present study can be grouped into four intersecting strands: GenAI-mediated writing by Chinese doctoral students; GenAI in L2 doctoral and publication writing; multilingual academic identity and translanguaging; and AI literacy, ethics and human agency. A multiple-case study by Du and Yang demonstrates that Chinese doctoral students use GenAI throughout English for Research Publication Purposes writing for language-, content- and format-related purposes; the technology can resolve some contradictions in doctoral writing while creating new ones (Du & Yang, 2025). Zhang, Li and Tsung similarly show that GenAI-mediated thesis writing can facilitate progress and confidence among Chinese doctoral students while generating tensions between efficiency and intellectual development and between language support and linguistic growth (Zhang et al., 2026). These findings make it necessary to evaluate GenAI not only through the quality of a finished text but through its effects on doctoral agency and participation.

A second strand focuses on L2 doctoral writing and EAP. Wu, Moorhouse, Wan and Wu investigated L2 PhD students' use of GenAI for academic writing for publication and found divergent judgements about appropriate use across stages of the writing process; their study directly argues for EAP curricula that address policy awareness, human accountability, prompt literacy and disciplinary differences (Wu et al., 2026). Hoomanfard and Shamsi, working with L2 doctoral students, identify extensive use of GenAI in dissertation writing together with concerns about AI-induced plagiarism and an explicit need for training (Hoomanfard & Shamsi, 2025). Caprario, Lin, Li and Wong further demonstrate the pedagogical importance of prompt-engineering practices in postgraduate EAP contexts (Caprario et al., 2026). Together, these studies shift the discussion from simple access to GenAI toward the quality, transparency and teachability of human-AI interaction.

The third strand concerns multilingual academic identity and ethical practice. Ou, Tai and Wang show that AI-mediated academic writing interacts with multilingual doctoral students' translanguaging, positioning and emerging academic identities (Ou et al., 2026). This is particularly relevant to Chinese doctoral researchers, for whom movement between Chinese and English may support comprehension but may also alter disciplinary meanings or rhetorical positioning. Feng's study of 25 Chinese doctoral students identifies a gap between ethical awareness and actual AI-assisted writing practices, including variation in disclosure and distributed agency (Feng & Li, 2026). Guo's research on Chinese doctoral students additionally examines the relationship between GenAI use and research self-efficacy, reinforcing the need to consider affective and agentive outcomes alongside textual performance (Guo, 2026).

The fourth strand concerns pedagogical boundaries. Rafi and Khalil, drawing on data from doctoral students and supervisors, distinguish areas in which GenAI can assist doctoral writing from areas that require strong human control, and they foreground prompt literacy, validation and the protection of critical reasoning and originality (Rafi & Khalil, 2026). UNESCO's guidance provides the broader human-centred policy frame for such decisions (Miao & Holmes, 2023). Consequently,

responsible Academic English pedagogy should not be organised around mastery of a particular commercial platform. It should develop transferable practices: questioning, comparing, source checking, documenting AI use, revising, rejecting inadequate output and taking responsibility for the final scholarly decision.

Despite the rapid expansion of this literature, several gaps remain. First, studies of GenAI writing often measure text improvement without connecting it to longer-term academic integration. Second, studies of international student adaptation rarely conceptualise GenAI as a mediating participant in academic socialisation. Third, research on doctoral GenAI use frequently focuses on dissertation production but less often on the broader ecology of Academic English: reading, seminar interaction, conference participation, correspondence, peer review and publication. Fourth, the specific combination of Chinese doctoral researchers, Ukrainian higher education and Academic English remains underexplored. The present study addresses these gaps through a conceptual model that treats GenAI as temporary pedagogical scaffolding whose ultimate criterion is increased learner autonomy and participation.

Purpose and objectives of the study. The purpose of the study is to develop and substantiate a conceptual and methodological model for the pedagogically responsible use of generative artificial intelligence in Academic English education for Chinese PhD students in Ukrainian higher education, with a focus on transition from language support to autonomous academic integration. The objectives are: (1) to identify the main educational opportunities and risks of GenAI for Chinese doctoral researchers using English for research communication; (2) to distinguish levels of pedagogical progression from linguistic assistance to academic integration; (3) to specify practical zones and task types for Academic English courses; and (4) to formulate principles that protect authorship, critical thinking, academic integrity and human agency.

Methodologically, the study is a theoretical and methodological inquiry based on critical integrative analysis of recent peer-reviewed research and international guidance. Sources were selected because they address at least one of the following intersections: Chinese international students and academic adaptation; GenAI and L2/academic writing; GenAI and doctoral education; AI literacy, ethics or human agency. The analysis compares recurrent affordances, risks and pedagogical implications and then synthesises them into a staged model. The proposed model is a research-informed pedagogical construct intended for subsequent empirical testing in authentic Ukrainian doctoral education contexts.

The analytical procedure followed three steps. First, the selected publications were read for recurring descriptions of how doctoral writers use GenAI in research communication, with particular attention to language mediation, drafting, source work, feedback, and revision. Second, the reported benefits were considered together with the difficulties identified in the same studies, including inaccurate output, fabricated references, unclear authorship, dependence on generated wording, and differences between institutional expectations. Third, these observations were compared with the learning outcomes normally associated with Academic English and English for Research Publication Purposes. This comparison made it possible to distinguish

support that removes an immediate language obstacle from support that contributes to longer-term academic participation. The resulting model therefore does not classify particular platforms as appropriate or inappropriate. It classifies pedagogical functions according to the degree of learner control they require and the kind of academic agency they are expected to develop.

The Ukrainian setting is treated as a context for application rather than as a source of empirical generalisation. The article does not assume that Chinese doctoral students constitute a homogeneous group or that their experience in Ukraine can be inferred from studies conducted in other national systems. Instead, findings from international research are used to identify questions that should be addressed when Academic English courses are designed for this group. These include access to academic communities, continuity of supervision, multilingual communication, expectations concerning publication, and the availability of AI tools across national digital environments. Such a distinction is important because a pedagogical framework can be theoretically grounded without claiming evidence that has not yet been collected locally. Empirical testing in Ukrainian universities is therefore presented as the next stage of the research rather than as an accomplished part of the present study.

Research results and discussion. The starting point of the proposed model is a distinction between linguistic success and academic integration. A grammatically polished paragraph is not evidence that a doctoral researcher can formulate a defensible claim, select evidence, position the claim in relation to literature, respond to criticism or explain methodological choices. GenAI makes this distinction more important because it can produce surface features of academic discourse with minimal learner effort. If assessment focuses only on the final text, fluent output may conceal weak conceptual ownership. Academic English education therefore needs to make the process of reasoning, source use and revision visible.

For Chinese doctoral researchers, GenAI can be especially attractive as a linguistic mediator. It can explain unfamiliar vocabulary in Chinese, provide English paraphrases, compare formal and informal registers, model hedging, identify cohesion problems and rehearse conference questions. Such functions can reduce cognitive load and anxiety at the point where language difficulties obstruct engagement with disciplinary content. This is a legitimate pedagogical function. The danger begins when mediation becomes substitution: the learner asks the model to formulate the research problem, create the argument, invent references or rewrite whole sections until the text no longer represents the learner's decisions. The pedagogical task is therefore to design a trajectory in which support is gradually faded.

The proposed model consists of four levels: Language Support, Academic Literacy, Critical AI Literacy and Academic Integration. These levels are developmental rather than rigidly sequential. A doctoral researcher may operate at different levels for different tasks; for example, a strong conference speaker may still require language support when writing a response to reviewers. Nevertheless, the levels provide a useful direction for course design because each level changes the learner's relationship with GenAI.

Table 1. Four-level model of GenAI-mediated Academic English development

Level	**Primary learner need**	**Legitimate GenAI function**	**Expected evidence of agency**
1. Language Support	Reduce linguistic barriers	Explain, translate, exemplify, locally edit	Learner can explain why a revision is accepted
2. Academic Literacy	Master genres and rhetorical practices	Compare models, diagnose structure, simulate feedback	Learner controls claims, evidence and genre choices
3. Critical AI Literacy	Evaluate AI output and limits	Generate alternatives for checking and critique	Learner verifies, rejects, documents and revises AI output
4. Academic Integration	Participate autonomously in scholarly community	Rehearse interaction and support reflection	Learner communicates independently and uses AI selectively

At Level 1, Language Support, GenAI functions as a linguistic scaffold. Appropriate tasks include asking for definitions of discipline-specific terms, comparing near-synonyms, identifying grammatical patterns, generating several examples of hedging, or explaining why a sentence sounds overly categorical. Translation can also be used strategically, especially when the learner needs to access the conceptual meaning of a difficult English passage before returning to the original. The essential rule is that the learner must remain able to reconstruct the meaning without the model. A useful assessment technique is "explain the edit": after using GenAI, the student marks three accepted changes and explains the linguistic or rhetorical reason for each. This transforms correction into learning.

At Level 2, Academic Literacy, the focus shifts from sentences to disciplinary and genre practices. The doctoral researcher learns how abstracts compress a research narrative, how introductions establish a niche, how literature reviews synthesise rather than list sources, how claims are calibrated, and how methods sections create transparency. GenAI can generate contrasting versions of a paragraph, but the student's task is to identify which version better fits the rhetorical purpose and why. The model can also simulate a critical reader: "What claim in this paragraph is insufficiently supported?" or "Which sentence introduces a new idea without a logical bridge?" Such prompting positions AI as an object of judgement rather than an authority.

For Chinese PhD students, this level should explicitly address cross-rhetorical awareness without stereotyping. It is pedagogically unhelpful to present "Chinese writing" and "Western writing" as fixed opposites. Individual writers differ, disciplines differ, and Chinese higher education itself is changing. However, international students may encounter unfamiliar expectations regarding explicit thesis statements, critical positioning, citation density, authorial stance and direct engagement with previous scholarship. The instructor can use paired texts and AI-generated alternatives to make these conventions discussable. The question should not be "Which culture writes

correctly?" but "What does this discourse community expect, and what communicative effect does this choice create?"

At Level 3, Critical AI Literacy, the object of learning is the AI-mediated process itself. The student learns that fluent language is not equivalent to truth, that generated references may be false, that confident explanations may omit uncertainty, and that apparently neutral reformulation can alter stance. The student is required to verify claims against original sources, compare alternative outputs, document substantial AI assistance and explain why particular suggestions were accepted or rejected. This level responds directly to empirical findings on the discrepancy between doctoral students' ethical awareness and actual AI-assisted writing practices (Feng & Li, 2026) and to calls for explicit training in appropriate and transparent GenAI use in EAP (Wu et al., 2026).

A useful critical-AI routine is the sequence "Prompt, Inspect, Verify, Decide, Disclose". First, the researcher formulates a bounded request rather than delegating an entire intellectual task. Second, the output is inspected for relevance, hidden assumptions and rhetorical effects. Third, factual claims and references are verified against original sources. Fourth, the researcher decides what to accept, reject or rewrite and records the reason. Fifth, where institutional or journal policies require it, the use of AI is disclosed transparently. The value of the routine lies in moving evaluation before adoption. It also provides teachers with assessable process evidence.

At Level 4, Academic Integration, the criterion of success is participation in real scholarly practices. GenAI becomes optional and selective rather than central. It may be used to rehearse a conference Q&A, generate possible reviewer objections, compare alternative subject lines for professional email, or help the researcher reflect on why a presentation was unclear. However, the researcher is expected to communicate without continuous AI mediation. Academic integration includes the capacity to ask questions in seminars, negotiate feedback with a supervisor, explain limitations, defend methodological choices, participate in peer discussion and maintain a recognisable scholarly voice. The final goal is not sophisticated prompting; it is scholarly autonomy.

The four-level model can be operationalised through five pedagogical zones. The first is engagement with research literature. GenAI can support pre-reading by explaining terminology, post-reading by testing comprehension, and synthesis by generating questions that force comparison among sources. It should not replace reading of the original publication. A strong task design requires the student to provide page-level evidence from authentic sources and to distinguish what the source states from what the AI infers. This is especially important for doctoral researchers, for whom secondary summaries cannot substitute for engagement with the literature.

The second zone is academic vocabulary and rhetorical repertoire. Instead of memorising isolated "academic words", students can investigate how disciplinary authors express caution, limitation, contrast, causality and significance. GenAI can produce candidate phrases, but corpus-informed checking or comparison with published papers should follow. Chinese doctoral researchers can also compare English formulations with Chinese conceptual equivalents and discuss where direct translation

changes stance. Such work supports multilingual competence rather than demanding that the learner suppress the first language.

The third zone is academic writing. Here the recommended unit of AI assistance is a bounded writing problem rather than a whole section. Examples include: identify three possible organisational patterns for these five ideas; diagnose cohesion problems without rewriting; propose questions a reviewer might ask about this claim; compare two versions of the same sentence for degree of certainty; or identify where the paragraph needs evidence. These prompts preserve authorial ownership because the learner supplies the content and uses AI to interrogate it. By contrast, “write my literature review” or “produce a discussion section from these results” transfers the core scholarly act to the system and should not be treated as a learning task.

The fourth zone is oral research communication. This area is often neglected in discussions of GenAI, although it is central to academic integration. A conversational model can simulate a conference participant, an examiner, a journal editor or an interdisciplinary colleague. The student can practise explaining the same study to different audiences, answering an unexpected question in two minutes, or clarifying a concept without reading a prepared script. For Chinese doctoral researchers who experience anxiety about spontaneous English, repeated rehearsal can lower the threshold for participation. The instructor should then move the rehearsal from AI to human interaction so that technology becomes a bridge to community rather than a substitute for it.

The fifth zone is academic integrity and authorship. Traditional plagiarism instruction is insufficient because GenAI can produce text that is not copied from a single source yet may still obscure authorship and responsibility. Doctoral students need a positive definition of authorship: the author is accountable for the accuracy of claims, the selection and interpretation of evidence, the logic of argument, methodological decisions and the final wording submitted under the author’s name. AI cannot assume this accountability. Therefore, courses should include scenarios in which students decide whether a use is acceptable, questionable or unacceptable under a stated policy and justify the decision. The objective is ethical reasoning rather than fear of detection.

The model also requires attention to the distinctive situation of Chinese doctoral learners. Recent studies show that GenAI can help Chinese doctoral students overcome language barriers and support thesis development, while simultaneously creating tensions around dependency, intellectual development and the changing distribution of work among student, supervisor and technological tool (Zhang et al., 2026; Du & Yang, 2025). Therefore, course design should teach functions and evaluative routines rather than dependence on a single platform: students should be able to formulate a task, compare outputs, verify sources, identify semantic shifts across languages and document how AI contributed to the work.

Another principle is multilingual legitimacy. If a Chinese doctoral researcher uses Chinese to clarify a complex concept before producing an English explanation, this should not automatically be viewed as a deficit. Strategic movement between

languages can support conceptual precision. The pedagogical question is whether the learner ultimately controls the English academic communication required by the programme. GenAI can facilitate translanguaging, but instructors should ask students to identify semantic shifts introduced during translation and to restore discipline-specific meanings. Such tasks develop both language awareness and epistemic responsibility.

A central contribution of the proposed framework is the principle of pedagogical fading of AI assistance. Scaffolding is educationally productive only if it can be removed. At the beginning of a course, the teacher may permit substantial AI-supported diagnosis and modelling. In the middle phase, students must compare AI suggestions with authentic scholarly texts and justify revisions. In the final phase, key tasks are completed with restricted or no generative assistance, followed by reflective comparison. This progression prevents a paradox in which a course intended to develop independent researchers makes them progressively more dependent on an external text generator.

Pedagogical fading can be implemented through three dimensions: scope, immediacy and authority. Scope refers to how much of the task is delegated. It should move from assistance with multiple local problems toward narrowly targeted consultation. Immediacy refers to when AI is used. Beginners may consult it during drafting; advanced learners should increasingly attempt the task independently before consulting the model. Authority refers to whose judgement prevails. At early stages, learners may be tempted to treat fluent AI output as authoritative. Course design should reverse this relation until the student can confidently reject a polished suggestion because it misrepresents evidence, overstates a claim or conflicts with disciplinary conventions.

Assessment must align with this progression. If only the final polished article is graded, students receive a strong incentive to maximise invisible AI assistance. More valid assessment combines product and process. A portfolio may include an initial draft, selected prompts, two or three AI outputs, annotations explaining accepted and rejected suggestions, verified sources and a final reflective note. Oral defence of a paragraph or research decision can confirm ownership. Short in-class or synchronous writing tasks can provide a baseline of independent performance. None of these measures is intended to police students; their purpose is to make learning visible and to reward critical agency.

For an Academic English for Researchers course, the model can be translated into a sequence of modules. A first module can establish AI-use rules and diagnostic language tasks. A second can focus on research reading and source verification. A third can address rhetorical moves in abstracts and introductions. A fourth can develop synthesis and literature review practices. A fifth can focus on argumentation, hedging and authorial stance. A sixth can cover methods and results language, including the difference between describing data and interpreting them. A seventh can practise peer review and response to reviewers. An eighth can develop conference communication

and Q&A. Across modules, the amount of permitted generation is progressively reduced while reflective documentation and independent performance increase.

The teacher's role also changes. In an AI-rich environment, the teacher is less valuable as a provider of isolated corrections because such corrections are immediately available from digital systems. The teacher becomes more important as a designer of epistemically meaningful tasks, an interpreter of disciplinary expectations, a facilitator of human interaction and a model of critical judgement. This is particularly relevant for international doctoral researchers, who need access not only to language but also to tacit academic norms. A model can suggest how to phrase disagreement; an experienced teacher can explain when, why and with whom a particular form of disagreement is appropriate in a specific academic community.

Institutional policy should support this pedagogical role. Blanket prohibition is difficult to enforce and can drive AI use underground, while unrestricted use can blur standards of authorship. A more sustainable policy specifies acceptable functions, disclosure expectations, data protection rules and high-risk uses. Doctoral programmes should align course-level instructions with dissertation and publication policies so that students do not receive contradictory messages. Supervisors also need shared language for discussing AI-assisted drafting. The aim should be consistent expectations about responsibility rather than surveillance.

The Ukrainian context adds a resilience dimension. Digital tools can maintain learning continuity during disruptions, but resilience should not be equated with permanent individualisation. Chinese doctoral researchers studying remotely may have fewer spontaneous opportunities to learn academic norms through corridor conversations, seminars and peer networks. If GenAI becomes the easiest interlocutor, it may inadvertently deepen this gap. Therefore, every AI-supported activity should, where feasible, have a human follow-up: peer comparison, teacher discussion, seminar presentation, supervisor consultation or collaborative review. The principle can be expressed simply: use AI to prepare for participation, not to avoid participation.

The conceptual model generates several propositions for future empirical research. First, students trained in the four-level progression should demonstrate greater ability to justify AI-assisted revisions than students receiving tool-focused instruction. Second, pedagogical fading should reduce dependence on direct generation without eliminating strategic use. Third, gains should be visible not only in textual accuracy but also in source verification, oral defence, response to feedback and confidence in academic interaction. Fourth, the relationship between AI use and integration is likely to be nonlinear: moderate, critically supervised use may support participation, whereas extensive substitution may produce fluent texts alongside weak ownership. These propositions can be tested through mixed-method studies involving writing portfolios, prompt histories, interviews, oral tasks and longitudinal observation.

Any future study with Chinese PhD students in Ukraine should avoid treating nationality as an explanatory variable by itself. Relevant variables may include prior English-medium education, discipline, stage of doctoral study, previous publication experience, digital access, familiarity with AI, mode of study and frequency of

interaction with supervisors and peers. Qualitative data are especially important because identical frequencies of AI use can represent different practices: one student may use a model to verify a self-written paragraph, while another may delegate the paragraph entirely. Process-sensitive research is therefore preferable to simple surveys asking how often students use ChatGPT.

The proposed framework has limitations. It is conceptual and does not claim experimentally measured effectiveness. The rapidly changing GenAI landscape means that platform capabilities and institutional rules will continue to evolve. The category "Chinese PhD students" is internally diverse and should not be essentialised. Furthermore, Academic English practices vary by discipline, so implementation in economics, psychology, engineering or philology will require disciplinary adaptation. These limitations do not weaken the need for a framework; rather, they define the conditions under which it should be tested and refined.

Conclusions. Generative artificial intelligence has created a new pedagogical situation for Academic English education. For Chinese PhD students in Ukrainian higher education, GenAI can reduce language barriers, provide rapid feedback and support rehearsal of research communication. At the same time, the same affordances can encourage dependency, obscure authorship, weaken source verification and allow linguistic fluency to substitute for intellectual ownership. Consequently, the educational value of GenAI cannot be evaluated by the quality of generated text alone.

The article proposes the four-level model four stages: Language Support, Academic Literacy, Critical AI Literacy, and Academic Integration. Its central logic is developmental: GenAI initially functions as scaffolding, then becomes an object of critical evaluation, and finally occupies a selective supporting role within autonomous scholarly practice. Five pedagogical zones, namely research reading, academic vocabulary and rhetoric, academic writing, oral research communication, and integrity/authorship, make the model applicable to Academic English for Researchers and ERPP courses. The principle of pedagogical fading requires direct generation to decrease as competence grows, while verification, reasoned rejection, independent drafting and human academic interaction increase.

The model also reframes adaptation. Academic integration is not achieved when an international doctoral researcher can submit grammatically polished English. It is achieved when the researcher can enter scholarly conversations, understand expectations, formulate and defend claims, use sources responsibly, respond to feedback and remain accountable for the submitted work. For this reason, GenAI should be used as a bridge to participation rather than as a private substitute for the academic community.

Prospects for further research include empirical validation of the model with Chinese and other international doctoral researchers in Ukrainian universities; comparison of global and Chinese GenAI platforms in bilingual academic tasks; longitudinal analysis of AI dependence and pedagogical fading; and development of assessment instruments that measure critical AI literacy together with Academic

English proficiency. Such research should combine textual outcomes with process data and indicators of actual academic participation.

References

1. Caprario, M., Lin, L. H. F., Li, V. W. K., & Wong, K. T. N. (2026). Reimagining writing instruction with GenAI: Insights into postgraduate EAP students' GenAI prompt engineering practices in Hong Kong. Journal of English for Academic Purposes, 82, 101695. https://doi.org/10.1016/j.jeap.2026.101695
2. Du, C., & Yang, Y. (2025). Doctoral students' use of Generative AI and their engagement in English for Research Publication Purposes writing: An activity theory perspective. System, 134, 103828. https://doi.org/10.1016/j.system.2025.103828
3. Feng, H., & Li, K. (2026). Ethical awareness versus actual practices: Chinese doctoral students in AI-assisted academic writing. Applied Linguistics, amag013. https://doi.org/10.1093/applin/amag013
4. Guo, J. (2026). The augmented scholar: How Generative AI usage influences research self-efficacy among Chinese doctoral students. Higher Education Research & Development. https://doi.org/10.1080/07294360.2026.2679246
5. Hoomanfard, M., & Shamsi, Y. (2025). Generative AI in dissertation writing: L2 doctoral students' self-reported use, AI-giarism, and perceived training needs. Journal of English for Academic Purposes, 78, 101570. https://doi.org/10.1016/j.jeap.2025.101570
6. Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693
7. Ou, A. W., Tai, K. W. H., & Wang, X. (2026). The emergence of academic writers: Multilingual doctoral students' translanguaging and transpositioning in AI-mediated academic writing. Journal of English for Academic Purposes, 79, 101613. https://doi.org/10.1016/j.jeap.2025.101613
8. Rafi, M. S., & Khalil, L. (2026). Generative AI in doctoral dissertation writing: Applications, limitations, and the need for prompt literacy. Frontiers of Digital Education, 3(2), 14. https://doi.org/10.1007/s44366-026-0088-9
9. Wu, C., Moorhouse, B. L., Wan, Y., & Wu, M. (2026). Exploring PhD students' utilization of generative AI in academic writing for publication purposes: Insights for EAP. Journal of English for Academic Purposes, 79, 101612. https://doi.org/10.1016/j.jeap.2025.101612
10. Zhang, L., Li, J., & Tsung, L. (2026). Activity systems in transition: GenAI-mediated thesis writing strategies and contradictions among Chinese doctoral students in Australia. System, 138, 104002. https://doi.org/10.1016/j.system.2026.104002

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.013.305-307

ПОЕТИКА ТОПОСУ І ЛОКУСУ У ВІРШІ О. ДОВГОГО «ЖИВА ВОДА. ТУТ ЩЕ ЖИВА ВОДА…»

Строкаль Олександр
к. філол.н., асистент
Кафедра української мови та прикладної лінгвістики
ННІФ КНУ імені Тараса Шевченка, Україна

Ведучи мову про топопоетичну організацію текстів Олексія Довгого [4], нами було висвітлено особливості взаємозв'язку одних із ключових понять поетики – місця і простору. Як показало згадане дослідження, між зазначеними поняттями та поняттями «топос» і «локус» існує певна взаємозалежність або кореляція.

Ураховуючи трактування поняття топосу М. Колінько як узагальненого уявлення про світ соціокультурної спільноти, у якому перетинаються різні смислові простори [3, с. 40–41], погляд В. Лобсієн на топоси («topoi») як на культурні смисли (ідеї, цінності, переконання, ментальності, вірування) та загальноприйняті уявлення і стереотипи [7, p. 71], а також бачення топосу Д. Боклахом [1] як часово-просторової сингулярності, можемо зробити висновок про те, що функційно-дефінітивна наповненість поняття «топос» по відношенню до поняття «простір» значно багатша й ширша, оскільки включає не лише уявлення про обсяг і протяжність матерії (у т.ч. об'єкти, відстань між ними та характер взаємодії), а й осмислення їх у певній світоглядній парадигмі соціуму. Натомість поняття «локус» і «місце» вважаємо практично синонімічними [див. 4], хоча в деяких випадках локус як простір із означеними межами може включати в себе поняття «місце» на позначення конкретної точки розташування певного об'єкта в такому локусі.

Коли йдеться про будь-який художній текст, у якому має місце використання мовних одиниць на позначення елементів зображуваного автором художнього простору, то, на нашу думку, доречніше вести мову не стільки про поетику простору (хоча подібні формулювання існують у мовознавчому дискурсі), скільки про поетику топосу або топосів. Звісно, коли проблематика дослідження зосереджується виключно на способах лінгвального відображення тих чи інших просторових величин без аналізу їхнього асоціативно-змістового чи прецедентного наповнення, цілком виправданим, вважаємо, стане актуалізація саме першого поняття. Однак, як показує аналіз подібних досліджень, їхні автори доволі рідко зосереджуються виключно на окресленій проблематиці, адже сама сутність художнього дискурсу апелює до імпліцитних смислів, прецедентних явищ, емотивно-оцінних характеристик. А тому, на нашу думку, ураховуючи вищезазначене тлумачення лінгвістами поняття «топос», доречно використовувати в таких випадках терміноназву «поетика топосу» чи «топопоетика» [7].

Взаємозв'язок понять «топос» і «локус» у контексті дослідження художніх текстів також потребує додаткового аналізу, зокрема щодо особливостей їхнього взаємозв'язку. Так, по-перше, зауважимо, що кореляція означених понять відбувається виключно в межах власне просторового дискурсу з урахуванням особливостей розташування одних об'єктів по відношенню до інших, виключаючи час, асоціації та оцінки, які більшою мірою вже притаманні топосу. По-друге, зокрема в герменевтичній традиції [6], маємо розуміння локусу як детермінанта топосу, тоді як в усталеній науковій думці саме простір (або топос) формує місце (локус) [5].

Дослідження поетичного міфосвіту Олексія Довгого доводить, що топос для ліричного героя автора в багатьох художніх контекстах визначається саме особливостями певного локусу – обмеженого простору, внутрішнього «Я» героя або навіть конкретного фізичного об'єкта. Так, у поезії «Жива вода. Тут ще жива вода…» бачимо, як за допомогою вживання субстантива «дно» на позначення конкретного локусу автор вибудовує часопросторову систему координат, у межах якої розгортається низка топосів, читаємо: «Жива вода. Тут ще жива вода. / На дні її встоялася біда. Углиб її спровадили зірки, / Усі епохи і усі віки…» [2, с. 271]. Зважаючи на контекстуальне оточення лексемами «жива вода» і «біда», іменник «дно» виступає поетично-образною номінацією патогенного локусу, нижчого за рівень землі (вербалізатор «углиб») і протиставлюваного небесному локусу (зірки), а тому інтерпретованому ліричним героєм власне як топос пекла. Останній перебуває у конфліктній взаємодії з топосом світу божеств, асоційованим із образом зірок як керманичів людських доль і помічників богів [8, p. 450], що репрезентовано в тексті дієслівною метафорою «зірки спровадили».

Топос земного і живого світу експлікують лексеми із просторовою (тут) та образною (жива вода) семантикою. Так, лексема «тут» у розгляданому текстовому оточенні вживається на позначення людського світу, тобто світу живих, на що вказує розташована поруч прикметниково-іменникова сполука «жива вода».

Звертає на себе увагу лексема «зірки», яка безпосередньо не називає горішній просторовий ярус, однак вказує на нього асоціативно, що неминуче зумовлює розгортання текстової структури опису відповідного локусу в опис топосу уже не лише як горішнього ярусу, а божественного світу, де персоніфікований образ зірок відкриває очам ліричного героя дійство вселенського масштабу, детермінуючи часово-просторовий континуум, представлений відповідно іменниками «епохи» та «віки».

Подальший контекст, представляючи за допомогою лексем-субстантивів «сучасне» і «давнина» два локуси на часовій осі, актуалізує хронотоп минулого й майбутнього в усій сукупності драматичної взаємодії їхніх складників і якостей, де перша виражена переважно дієсловами і прислівниками «сколихнути», «скаламутити», «знов підніметься», а другі – іменником «біда» й прикметниками «жива» і «нежива», пор: «Жива вода. її не сколихни. / Не

скаламуть сучасним давнини. / Бо знов із дна підніметься біда, / З живої буде нежива вода» [2, с. 271].

Отже, як показує проведений аналіз згаданого вище вірша, лексеми на позначення як власне просторових, так і часових локусів у поетичних текстах О. Довгого виступають, зважаючи на поетичний контекст і художню образність, номінаціями топосів зі своєю образно-ціннісною структурою та інтеграцією у хронотоп авторського міфу.

Подальші дослідження, вважаємо, слід присвятити більш докладному вивченню мовних механізмів реалізації взаємодії в художньому контексті категорій топосу й локусу.

Список використаних джерел

1. Боклах, Д. (2016). Дефініції і взаємозв'язок категорій топосу, локусів, хронотопу міста та їх реалізація у міському тексті художнього твору. Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Філологія. 2016. Вип. 74. С.249–257. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhIFL_2016_74_57 .
2. Довгий, О. (2009). Вибрані твори: Т. 4. Келих троянд. Укр. письменник.
3. Колінько, М. (2018). Топос як поняття соціальної топології. Мультиверсум. Філософський альманах. 2018. Вип. 3–4. 32–44. DOI: http://dx.doi.org/10.35423/2078-8142.2018.3-4.03
4. Строкаль, О. (2025). Топопоетика дихотомії «місце vs простір» Олексія Довгого. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Scientific Progress: Theories, Applications and Global Impact». Braga, Portugal. 220–222 p. DOI: https://doi.org/10.70286/eoss-27.10.2025.003 .
5. Agnew, J. (2011). Space and place. The Sage Handbook of Geographical Knowledge. 316–330. DOI: http://dx.doi.org/10.4135/9781446201091.n24 .
6. Cresswell, T. (2017). Towards Topopoetics: Space, Place and the Poem. Place, Space, and Hermeneutics. Publisher: Springer International. 319–325. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-52214-2_23 .
7. Lobsien, V. (2021). Topopoetics. Early Modern Allegory and Classical Meanings. eTopoi – Journal for Ancient Studies, 9, 71–86. DOI: http://dx.doi.org/10.17169/refubium-29548 .
8. Tresidder, J. (2017). Complete dictionary of symbols. Sausalito: Sausalito Public Library. URL: https://archive.org/details/completedictiona00jack .

КОГНІТИВНІ ЗАСАДИ ДІЄСЛІВНОЇ ПРЕФІКСАЦІЇ В СУЧАСНІЙ НІМЕЦЬКІЙ МОВІ: ПРОСТОРОВИЙ, АСПЕКТУАЛЬНИЙ ТА ФРЕЙМОВИЙ ВИМІРИ

Черепанов Олександр
Харківський ліцей №80
Україна

Анотація. У статті досліджуються когнітивні механізми формування семантичної структури префіксальних дієслів у сучасній німецькій мові. Проаналізовано процеси концептуалізації, категоризації та метафоризації на матеріалі просторових і результативних префіксів. Визначено роль базових образ-схем (CONTAINER, PATH, UP-DOWN) як когнітивного фундаменту мовної репрезентації просторового досвіду та здійснено фреймове моделювання трансформації подієвих структур. Особливу увагу приділено співвідношенню просторової семантики префіксів із аспектуальними та результативними значеннями, а також морфосинтаксичній поведінці відокремлюваних і невідокремлюваних префіксів. Встановлено системну кореляцію між ступенем семантичної абстракції префікса та характером його функціонування в структурі дієслова.

Ключові слова: когнітивна лінгвістика, дієслівна префіксація, образ-схема, фреймова семантика, концептуальна метафора, метафоризація, граматикалізація, результативність.

Актуальність дослідження зумовлена загальною переорієнтацією сучасного мовознавства від формально-структурного до когнітивно-дискурсивного вивчення мовних явищ, за якого мовні одиниці розглядаються як засоби репрезентації ментальних структур -концептів, образ-схем, фреймів і сценаріїв [3; 4].

Дієслівна префіксація в німецькій мові є одним із продуктивних способів словотвору, що суттєво модифікує лексичне значення мотивувального дієслова [8]. Префіксальна деривація може актуалізувати просторові, аспектуальні, результативні, темпоральні та оцінні характеристики дії [10]. Водночас традиційний структурно-семантичний опис префіксів не завжди дає змогу пояснити, чому саме певні значення закріплюються за конкретними морфемами та яким чином відбувається перехід від конкретного просторового значення до абстрактної семантики.

Метою статті є виявлення та системний опис когнітивних механізмів, що визначають семантичну структуру префіксальних дієслів сучасної німецької мови.

Когнітивна лінгвістика виходить із положення про те, що мова є одним із проявів загальної когнітивної діяльності людини, пов'язаної зі сприйняттям, категоризацією, пам'яттю, увагою та мисленням [3, с. 14–27]. У цьому контексті мовні значення розглядаються не як автономні абстрактні структури, а як результат концептуалізації досвіду [9, с. 41].

Концептуалізація визначається як процес формування концептуальних структур, за допомогою яких людина організовує та інтерпретує досвід взаємодії зі світом [9]. Категоризація, своєю чергою, забезпечує об'єднання різноманітних об'єктів і ситуацій у певні концептуальні класи на основі спільних характеристик та прототипових ознак [3, с. 50–75].

Одним із ключових понять когнітивної лінгвістики є образ-схема (image schema) -узагальнена структура досвіду, що формується на основі повторюваних сенсомоторних взаємодій людини з навколишнім світом [1, с. 267–268; 4, с. 148–150].

Для аналізу німецької дієслівної префіксації особливого значення набувають такі образ-схеми:

- CONTAINER (контейнер) -концептуалізує перебування об'єкта всередині або поза межами певного простору. У німецькій мові вона актуалізується, зокрема, префіксами ein- та aus-;
- PATH (шлях) -структурує переміщення від вихідної точки через певну траєкторію до кінцевої точки. Її реалізацію можна спостерігати у значеннях префіксів durch-, über- та vor-;
- UP-DOWN (верх -низ) -репрезентує вертикальну орієнтацію простору та лежить в основі значень auf- та unter- [1; 2; 4].

Таким чином, просторові префікси можна розглядати як мовні засоби кодування базового тілесного досвіду. Їхня семантика не є довільною, оскільки значною мірою мотивується універсальними способами просторової організації людського досвіду.

Однією з характерних властивостей префіксальної системи німецької мови є регулярний перехід від конкретного просторового значення до абстрактного. Такий перехід може пояснюватися механізмами концептуальної метафоризації, у межах якої структура фізичного простору переноситься на абстрактні сфери досвіду [1; 2].

Префікс aus- первинно репрезентує рух із внутрішнього простору назовні. У похідних дієсловах ця просторова схема може переосмислюватися як досягнення межі або вичерпання певного процесу:

- austrinken -«випити до кінця»;
- ausschlafen -«виспатися, завершити процес сну»;
- ausarbeiten -«опрацювати до завершення».

У цьому випадку просторова схема виходу за межі контейнера трансформується у концептуальну схему завершення або доведення процесу до певної межі.

Префікс über- пов'язаний із просторовою концептуалізацією руху над поверхнею або через певну межу. У процесі метафоризації він може набувати значень надлишковості, перевищення або пропуску певного об'єкта чи інформації:

- übertreiben -«перебільшувати»;
- übersehen -«не помічати, пропускати»;
- überlasten -«перевантажувати».

Префікс unter- первинно пов'язаний із вертикальною орієнтацією «нижче». На абстрактному рівні ця схема може актуалізувати відношення підпорядкування, зниження або занепаду:

- unterstellen -«підпорядковувати»;
- unterordnen -«підпорядковувати, ставити нижче в ієрархії»;
- untergehen -«занепадати, гинути».

Отже, метафоричне розширення дозволяє просторовим характеристикам перетворюватися на засоби концептуалізації абстрактних відношень.

Важливим аспектом функціонування німецьких префіксальних дієслів є їхня здатність модифікувати структуру події з погляду її межовості та результативності. На відміну від мов із морфологічно вираженою граматичною категорією виду, німецька мова використовує комплекс лексико-граматичних засобів для вираження характеристик перебігу та завершеності дії [8; 10].

Порівняння schreiben -aufschreiben демонструє зміну концептуалізації ситуації:

- schreiben репрезентує процес письма без обов'язкового акцентування кінцевого результату;
- aufschreiben актуалізує дію, спрямовану на створення конкретного результату -записаного тексту або інформації.

Подібним чином префікс може задавати межу події, її напрямок або досягнення певного стану. У результаті змінюється не лише лексичне значення дієслова, а й концептуальна структура всієї ситуації.

Окремий інтерес становлять випадки, коли початкове просторове значення префікса поступово втрачає свою конкретність. Процес семантичної десемантизації особливо виразно проявляється у невідокремлюваних префіксах, серед яких важливе місце посідає er-. У дієсловах erwachen, ersticken, erfrieren префікс не має безпосереднього просторового значення, однако бере участь у формуванні семантики досягнення певного стану:

- erwachen -досягнення стану неспання;
- ersticken -досягнення стану припинення дихання;
- erfrieren -досягнення стану замерзання.

У цьому випадку можна говорити про високий ступінь абстрагування початкової просторової семантики та про функціонування префікса як засобу модифікації подієвої структури.

Відповідно до теорії фреймової семантики Ч. Філлмора, значення мовної одиниці є доступом до ширшої структури знань -фрейму [5, с. 111–116]. Тому семантичний аналіз префіксального дієслова має враховувати не лише значення окремої морфеми, а й трансформацію всієї подієвої структури.

Показовою є тріада stehen -verstehen -entstehen. Дієслово stehen активує фрейм просторового положення суб'єкта. У verstehen просторовий компонент uže не сприймається буквально: відбувається метафоричний перехід від фізичного до ментального простору, унаслідок чого формується значення «розуміти». У entstehen префікс ent- бере участь у формуванні концепту

виникнення нового стану або події. Відповідно, три дієслова демонструють різні способи трансформації вихідної концептуальної структури.

Морфосинтаксична поведінка префіксів є важливим параметром їхньої функціональної характеристики. У традиційному описі німецької мови розрізняють відокремлювані та невідокремлювані префікси. До відокремлюваних належать, зокрема, auf-, aus-, ein-, weg-:

- aufstehen → Er steht früh auf;
- ausgehen → Wir gehen heute Abend aus.

Такі префікси часто зберігають виразний зв'язок із конкретною просторовою або напрямною семантикою. Невідокремлювані префікси ver-, er-, ent- функціонують як невід'ємні компоненти дієслівної лексеми (verstehen, erreichen, entstehen). Їхня семантика часто характеризується більшим ступенем абстракції та меншою прозорістю щодо вихідного просторового досвіду.

Особливо показовими є перехідні випадки -префікси, які можуть функціонувати у відокремлюваних та невідокремлюваних конструкціях (über-, durch- та unter-). У таких випадках морфосинтаксичний статус може корелювати з відмінностями у значенні. Наприклад:

- übersetzen -«перевозити через воду» (відокремлюваний/невідокремлюваний залежно від контексту та наголосу);
- übersetzen -«перекладати текст».

У першому випадку актуалізується конкретна просторова схема перетину межі, тоді як у другому значення набуває високого ступеня абстракції та стосується перенесення змісту з однієї мовної системи в іншу. Подібна полісемія демонструє, що префіксальна морфема може функціонувати як своєрідний когнітивний міст між конкретним просторовим досвідом і абстрактними концептуальними структурами.

Висновки. Проведений аналіз дає підстави розглядати систему дієслівної префіксації сучасної німецької мови як когнітивно мотивовану систему концептуалізації подій. Значення префіксів значною мірою ґрунтуються на базових образ-схемах CONTAINER, PATH та UP-DOWN, які формуються на основі тілесного та сенсомоторного досвіду людини. Просторові значення префіксів можуть підлягати системній метафоризації, унаслідок чого формуються абстрактні аспектуальні, результативні, темпоральні та оцінні значення.

Список використаних джерел

1. Lakoff G., Johnson M. Metaphors We Live By. Chicago : University of Chicago Press, 1980. 242 p.
2. Kövecses Z. Metaphor: A Practical Introduction. 2nd ed. Oxford : Oxford University Press, 2010. 375 p.
3. Evans V., Green M. Cognitive Linguistics: An Introduction. Edinburgh : Edinburgh University Press, 2006. 830 p.
4. Langacker R. W. Foundations of Cognitive Grammar. Vol. 1: Theoretical Prerequisites. Stanford : Stanford University Press, 1987. 516 p.

5. Fillmore C. J. Frames and the Semantics of Understanding // Quaderni di Semantica. 1982. Vol. 3, № 2. P. 222–242.
6. Talmy L. Toward a Cognitive Semantics. Vol. 1: Concept Structuring Systems. Cambridge, Mass. : MIT Press, 2000. 565 p.
7. Ungerer F., Schmid H.-J. An Introduction to Cognitive Linguistics. London : Longman, 2006. 356 p.
8. Eisenberg P. Grundriss der deutschen Grammatik. Band 2: Wortbildung. Stuttgart : Metzler, 2006. 505 p.
9. Croft W., Cruse D. A. Cognitive Linguistics. Cambridge : Cambridge University Press, 2004. 356 p.
10. Comrie B. Aspect: An Introduction to the Study of Verbal Aspect and Related Problems. Cambridge : Cambridge University Press, 1976. 142 p.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.014.312-318

МЕТОДОЛОГІЯ ПОСТРЕДАГУВАННЯ МАШИННОГО ПЕРЕКЛАДУ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Ганецька Людмила Василівна
кандидат філологічних наук, доцент
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-9938-8343.
Кушевська Наталя Миколаївна
магістр міжнародного права, старший викладач
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9379-0915.
Заверуха Юлія Григорівна
магістр міжнародного права, старший викладач
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2184-5566.
Кафедра іноземних мов професійного спрямування
Факультет права, врядування та міжнародних відносин,
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
м. Київ, Україна

Вступ. Розвиток нейромережевих технологій нового покоління істотно змінив характер роботи з машинним перекладом. Такі системи дедалі частіше генерують граматично правильні, зв’язні та стилістично прийнятні тексти, у яких мовні недоліки не завжди є очевидними. З огляду на це традиційне редагування, орієнтоване переважно на виявлення та виправлення явних мовних помилок, уже не охоплює всього комплексу завдань, пов’язаних із постредагуванням машинного перекладу. За таких умов робота постредактора передбачає не лише мовне коригування тексту, а й перевірку його смислової точності, логічної

послідовності, термінологічної узгодженості, відповідності комунікативному завданню та стабільності застосованих перекладацьких рішень. У педагогічній практиці така трансформація зумовлює необхідність відповідного переосмислення підходів до професійної підготовки перекладачів. Навчання має бути спрямоване не лише на виправлення окремих недоліків машинно згенерованого тексту, а на опанування цілісної технології аналізу та прийняття обґрунтованих редакторських рішень [5].

У цьому контексті методологію постредагування пропонуємо трактувати як цілісну систему принципів, процедур, критеріїв і послідовних операцій, що регулюють взаємодію перекладача з текстом, згенерованим системою машинного перекладу. Її педагогічна функція полягає у формуванні структурованого й керованого алгоритму роботи, який у процесі навчання поступово трансформується у стійку професійну навичку. Відповідно, у центрі такого підходу перебуває не сама нейромережева система та її технічні можливості, а діяльність людини, пов’язана з критичним оцінюванням, інтерпретацією та цілеспрямованим перетворенням отриманого результату.

Результати дослідження. У процесі постредагування машинного перекладу визначальним чинником є логічно впорядкована послідовність редакторських дій, що забезпечує системність аналізу та обґрунтованість прийнятих рішень. Методологію постредагування доцільно будувати за принципом поступового звуження редакторського рішення. На початковому етапі студент оцінює текст як цілісний перекладацький продукт, після чого переходить до аналізу окремих смислових сегментів, визначає характер виявленого відхилення та обирає відповідну редакторську операцію. Після внесення змін увага знову спрямовується на текст як цілісну структуру, що дає змогу оцінити узгодженість виконаного редагування із загальним змістом і комунікативною функцією перекладу. Така циклічна організація роботи дає змогу усунути поширену навчальну помилку, за якої здобувач освіти відразу переходить до заміни окремих слів або конструкцій, попередньо не визначивши причину, характер і рівень виявленого недоліку [1].

З огляду на це запропонована методологія охоплює шість послідовних етапів: 1) цільову орієнтацію, 2) первинну діагностику, 3) поглиблену верифікацію, 4) вибір редакторської стратегії, 5) виконання постредагування та 6) підсумковий контроль. Кожний із цих етапів виконує окрему навчальну функцію та передбачає досягнення визначеного проміжного результату. Відповідно, перехід до наступного етапу здійснюється лише після завершення попередньої операції та отримання результату, необхідного для подальшого прийняття редакторського рішення.

На першому етапі визначають цільові параметри майбутнього тексту, які формують основу для подальшого постредагування. До них належать призначення перекладу, характеристика його адресата, жанр, предметна сфера, допустимий рівень редакторського втручання та вимоги до кінцевої якості тексту. При цьому однакове відхилення, виявлене в машинному перекладі, може

потребувати різних редакторських рішень залежно від функції конкретного тексту, його жанрової належності та умов використання. Отже, необхідну глибину постредагування визначають до початку безпосереднього внесення змін, оскільки саме цільові параметри перекладу зумовлюють обсяг і характер подальшого редакторського втручання.

Другий етап передбачає первинну діагностику результату машинного перекладу без безпосереднього внесення змін до тексту. На цьому етапі здобувач освіти спочатку читає текст як цілісний продукт, визначаючи фрагменти, що потребують підвищеної редакторської уваги. У межах такої первинної оцінки аналізують смислову зв'язність, логічну послідовність викладу, термінологічну узгодженість, природність синтаксичних конструкцій і відповідність тексту визначеним стильовим параметрам. Особливої уваги потребують формально правильні конструкції, які не містять очевидних граматичних порушень, однак можуть приховувати семантичні, логічні або прагматичні відхилення й створювати хибне враження належної якості машинного перекладу [6].

Третій етап передбачає перехід від загальної діагностики до верифікації окремих сегментів тексту. На цьому етапі здобувач освіти зіставляє вихідний текст із результатом машинного перекладу та визначає тип виявленого відхилення. До робочої класифікації доцільно включити смислове викривлення, пропуск, необґрунтоване додавання, термінологічну невідповідність, граматичну помилку, порушення зв'язності, стилістичне відхилення та формальну невідповідність. У цьому контексті застосовується принцип пріоритетності редакторського втручання, відповідно до якого характер і послідовність виправлень визначаються ступенем впливу виявленого недоліку на якість перекладу. Насамперед усуваються помилки, що змінюють або спотворюють зміст вихідного повідомлення. Після цього опрацьовуються термінологічні та логічні невідповідності, а далі коригуються граматичні, синтаксичні й стилістичні недоліки. Формальні невідповідності усуваються на завершальному етапі опрацювання сегмента. Така послідовність формує у здобувача освіти навичку оцінювати помилки не за ступенем їхньої візуальної помітності, а відповідно до їхнього впливу на точність, зв'язність і функціональну придатність перекладу [3, с. 110].

Четвертий етап пов'язаний із вибором стратегії постредагування відповідно до характеру виявленого відхилення. Для кожного проблемного сегмента здобувач освіти приймає одне з чотирьох можливих рішень: залишити його без змін, виконати локальне виправлення, здійснити структурну перебудову або перекласти сегмент повторно. Такий підхід дає змогу відмовитися від установки на обов'язкове редагування кожного формулювання, отриманого внаслідок машинного перекладу. Якщо машинний варіант точно передає зміст вихідного тексту та відповідає визначеним цільовим параметрам, його збереження без додаткового втручання також становить обґрунтоване професійне рішення.

П'ятий етап охоплює безпосереднє виконання постредагування, під час якого застосовується принцип мінімально достатнього втручання. Відповідно до

нього кожна внесена зміна повинна мати чітке функціональне обґрунтування та бути спрямованою на усунення конкретної невідповідності. Надмірне редагування збільшує часові витрати, підвищує ймовірність появи додаткових помилок і може фактично перетворити постредагування на повторний переклад. Водночас принцип мінімально достатнього втручання не передбачає поверхового опрацювання тексту. Якщо машинно перекладений сегмент містить приховане смислове викривлення, яке неможливо усунути локальними змінами, обґрунтованим рішенням є повна реконструкція відповідного фрагмента.

До запропонованої методології навчання також включено матрицю редакторського рішення, призначену для систематизації вибору необхідного обсягу втручання. Вона поєднує три взаємопов'язані параметри – ступінь критичності помилки, її вплив на функцію тексту та необхідний масштаб редакторського втручання. Низький рівень передбачає збереження сегмента без змін або його локальне коригування. Середній рівень потребує редагування словосполучення чи речення, тоді як високий рівень передбачає структурну перебудову або повторний переклад відповідного сегмента [4, с. 54]. Така матриця забезпечує послідовне співвіднесення характеру помилки з обсягом необхідного редагування та сприяє обґрунтованості прийнятого рішення.

Шостий етап становить багаторівневий контроль результату постредагування та передбачає послідовну перевірку його відповідності вихідному тексту й установленим параметрам якості. Спочатку здійснюється семантична перевірка шляхом зіставлення відредагованого перекладу з вихідним текстом, що дає змогу встановити точність передавання змісту. На наступному рівні контролюються термінологічна узгодженість, граматична правильність, синтаксична організація та стилістична однорідність тексту. Завершальна перевірка виконується без постійного звернення до вихідного тексту, оскільки на цьому етапі оцінюються природність, зв'язність і цілісність уже відредагованого перекладу як самостійного текстового продукту [2, с. 12–13].

Методологія передбачає поетапне ускладнення навчальних завдань відповідно до зростання рівня самостійності здобувача освіти. На початковому рівні викладач визначає типи помилок і критерії їх оцінювання, формуючи основу для подальшого засвоєння алгоритму постредагування. На наступному рівні здобувач освіти самостійно класифікує виявлені відхилення, однак виконує завдання відповідно до заздалегідь визначеної послідовності дій. У міру опанування процедури постредагування готові категорії та допоміжні підказки поступово вилучаються, що посилює автономність прийняття редакторських рішень. Завершальний рівень передбачає самостійне визначення стратегії постредагування, виконання відповідних редакторських операцій та аргументоване обґрунтування прийнятих рішень (табл. 1).

Таблиця 1. Методологія поетапної трансформації навчального постредагування у професійну процедуру роботи з нейромережевим перекладом [1; 4]

№ з/п	Етап циклу постредагування	Методична мета етапу	Зміст навчально-професійних дій здобувача освіти	Критерій переходу до наступного етапу	Результат формування компетентності з постредагування
1	Цільова орієнтація	Визначити параметри майбутнього перекладу до початку його оцінювання	Визначення призначення тексту, його адресата, жанрових вимог, предметної сфери, необхідного рівня якості та допустимого обсягу редакторського втручання	Сформовано цільовий профіль перекладу та визначено межі редакторського втручання	Здатність співвідносити характер постредагування з функцією тексту та умовами його подальшого використання
2	Первинна діагностика	Здійснити первинне оцінювання результату машинного перекладу без передчасного внесення змін	Цілісне читання перекладу, визначення проблемних сегментів, виявлення порушень смислової зв'язності, логічної послідовності, термінологічної узгодженості та стилістичної однорідності	Визначено сегменти, що потребують підвищеної редакторської уваги та поглибленої перевірки	Формування здатності виявляти потенційні помилки навіть за зовнішньої мовної правильності тексту
3	Верифікація	Встановити відповідність результату машинного перекладу змісту вихідного повідомлення	Паралельне зіставлення вихідного та перекладеного текстів, перевірка смислових відношень, фактичних даних, референцій, термінів, пропусків і необґрунтованих додавань	Для кожного проблемного сегмента підтверджено наявність або відсутність змістового відхилення	Розвиток навички доказової перевірки результату машинного перекладу замість його інтуїтивного оцінювання
4	Класифікація помилки	Визначити характер і ступінь критичності встановленого відхилення	Віднесення виявленої помилки до смислового, термінологічного, логічного, граматичного, синтаксичного, стилістичного або формального типу	Встановлено тип помилки, ступінь її критичності та потенційний вплив на функцію тексту	Здатність диференціювати помилки за їхньою природою, наслідками та пріоритетністю усунення
5	Вибір стратегії	Обґрунтувати необхідний обсяг редакторського втручання	Вибір між збереженням машинного варіанта без змін, локальним коригуванням, структурною перебудовою або повторним перекладом сегмента	Обрана стратегія відповідає ступеню критичності помилки, цільовим параметрам тексту та очікуваному рівню якості	Формування автономності у прийнятті обґрунтованих професійних редакторських рішень

Продовження табл. 1

№ з/п	Етап циклу постредагування	Методична мета етапу	Зміст навчально-професійних дій здобувача освіти	Критерій переходу до наступного етапу	Результат формування компетентності з постредагування
6	Постредагування	Реалізувати обрану стратегію відповідно до принципу мінімально достатнього втручання	Усунення змістових і термінологічних помилок, коригування структури, граматики та стилю зі збереженням коректних машинних рішень	Виявлені помилки усунено без необґрунтованої перебудови коректних фрагментів тексту	Здатність забезпечувати необхідний рівень якості перекладу без надмірного редакторського втручання
7	Підсумковий контроль	Перевірити якість постредагованого тексту на кількох взаємопов'язаних рівнях	Послідовний семантичний, термінологічний, мовний, стилістичний і формальний контроль, а також перевірка цілісності та зв'язності кінцевого тексту	Переклад відповідає визначеним критеріям точності, узгодженості, природності та функціональної придатності	Формування системної навички багаторівневого контролю результатів постредагування
8	Рефлексія	Перетворити виконані редакторські дії на усвідомлений професійний досвід	Фіксація машинного сегмента, характеру виявленої помилки, прийнятого рішення, обсягу втручання та аргументації внесених змін	Здобувач освіти здатний обґрунтувати причинно-наслідковий зв'язок між виявленою помилкою та застосованою редакторською операцією	Розвиток професійної рефлексії та здатності аргументувати власні редакторські рішення
9	Повторний цикл та інтеріоризація	Трансформувати зовнішньо заданий алгоритм у стійку внутрішню процедуру професійної діяльності	Повторне виконання циклу на текстах різного рівня складності з поступовим зменшенням обсягу підказок, зовнішніх критеріїв і безпосереднього контролю викладача	Здобувач освіти самостійно відтворює повний цикл постредагування та адаптує його до нового перекладацького завдання	Формування автономної компетентності з постредагування та стійкого алгоритму роботи з нейромережевим перекладом

Оцінювання результатів навчання також потребує перегляду відповідно до логіки запропонованої методології постредагування. Звичайний підрахунок кількості виправлених помилок не дає змоги повною мірою визначити рівень сформованості компетентності з постредагування, оскільки не відображає обґрунтованості прийнятих редакторських рішень. З огляду на це оцінювання доцільно здійснювати за сукупністю взаємопов'язаних критеріїв, що охоплюють точність діагностики, правильність визначення ступеня критичності помилки, обґрунтованість редакторського втручання, збереження змісту вихідного повідомлення, термінологічну узгодженість і якість

кінцевого тексту. Додатковим показником може бути частка необґрунтованих змін, яка дає змогу оцінити здатність здобувача освіти дотримуватися принципу мінімально достатнього втручання та уникати надмірного редагування.

Висновки. Запропонована методологія передбачає перехід від постредагування як сукупності окремих операцій мовного коригування до системно організованої процедури прийняття професійних редакторських рішень. Її основу становлять шість послідовних етапів, доповнених професійною рефлексією та поступовим зменшенням обсягу зовнішнього супроводу в процесі формування самостійності здобувача освіти. Визначальним принципом такої діяльності є мінімально достатнє втручання, обсяг якого залежить від характеру й ступеня критичності виявленої помилки, функціонального призначення тексту та встановлених вимог до якості кінцевого перекладу.

Педагогічна цінність запропонованого підходу полягає у формуванні автономної стратегії роботи з результатами нейромережевого перекладу. У процесі навчання здобувач освіти переходить від механічного виправлення окремих фрагментів машинно перекладеного тексту до системного оцінювання його якості, діагностики відхилень, визначення необхідного обсягу редакторського втручання та контролю обґрунтованості прийнятих рішень. Отже, запропонована методологія створює підґрунтя для формування постредагування як самостійної професійної компетентності, здатної до подальшої адаптації відповідно до змін у технологіях нейромережевого машинного перекладу.

Список використаних джерел

1. Chen, S., & Zhou, T. (2026). Machine translation and post-editing in translator training: A systematic review of integration models, challenges, and pedagogical implications. Humanities and Social Sciences Communications. https://doi.org/10.1057/s41599-026-08740-5
2. Minder, J., Mestivier, A., & Kübler, N. (2025). Machine translation and post-editing: Comparative evaluation of different MT systems and post-editor groups in specialised translation. In Teaching specialized translation in the machine translation era (pp. 1–25). https://doi.org/10.48550/arXiv.2606.23002
3. Palchevska, O., Aleksandruk, I., & Hrechukha, L. (2026). Machine translation post-editing technologies. Lviv Philological Journal, 19, 107–112. https://doi.org/10.32447/2663-340X-2026-19.14
4. Povilaitienė, M., & Kasperė, R. (2022). Machine translation for post-editing practices. Scientific Journal of National Pedagogical Dragomanov University. Series 9. Current Trends in Language Development, 24, 47–62. https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series9.2022.24.04
5. Rakhimova, D., Karibayeva, A., & Turarbek, A. (2024). The task of post-editing machine translation for the low-resource language. Applied Sciences, 14(2), Article 486. https://doi.org/10.3390/app14020486
6. Zhang, X. (2026). A translation competence-based approach to machine translation post-editing training. Región Científica, 5(2), Article 2026600. https://doi.org/10.58763/rc2026600

НАЦІОНАЛЬНО-КУЛЬТУРНА СЕМАНТИКА АНГЛІЙСЬКИХ ТОПОНІМІВ

Птуха Владислав Анатолійович
к.ф.н., доцент
Кафедра англійської філології
Київський національний лінгвістичний університет, Україна

Аналіз національно-культурного значення англійських географічних назв відкриває доступ до минулого, менталітету та повсякдення британського народу. Назви населених пунктів і природних об'єктів – це більше ніж просто позначки на карті; вони слугують унікальними «капсулами часу», які бережуть пам'ять про завойовників, особливості ландшафту й духовні уявлення минулих століть.

Метою ж цієї лінгвістичної розвідки є розглянути основні аспекти, що розкривають культурний код англійських топонімічних назв.

Англійські топоніми вже неодноразово перебували у фокусі уваги як зарубіжних дослідників (Е. Еквалль, К. Камерон [5], А. Мілз [6], Е. Партрідж), так і вітчизняних (Я. Бельмаз [1], Ю. Головащенко [2], Г. Лабінська [3], І. Савранчук [4]), а також сучасних українських фахівців з контрастивної лінгвістики та когнітивної топоніміки (зокрема науковців Київського національного лінгвістичного університету, Одеського національного університету імені Мечникова та інших філологічних шкіл).

Розглянемо основні етимологічні прошарки топонімів Великої Британії, які є своєрідним літописом, де кожна хвиля завоювань та міграцій закарбувалася у назвах міст, річок і рельєфу. Усі вони формувалися в різні періоди історії країни. По-перше, це кельтський субстрат. Найдавніші назви, що стосуються переважно річок та пагорбів (об'єктів природи). Наведемо кілька прикладів: Avon походить від кельтського *Abonā «річка» (реконструйована форма) [7]; Thames – від *Tamesis або Tamēsa, що буквально означає «темна вода» [7]; Pen- у Penrith – «вершина» [6].

Окремої уваги заслуговує римська спадщина, яка справила вагомий вплив на формування англійської топонімічної системи. Свідченням військової присутності Римської імперії на британських островах є форманти -chester, -caster, -cester, які походять від латинського castra «військовий табір». Прикладами можуть бути такі назви міст, як Manchester, Lancaster, Gloucester.

Значний вплив на англійську топоніміку мав і англосаксонський період. Тут найбільшим є пласт лексики, що відображає сільський побут. Зокрема це добре прослідковується у наступних формантах: -ton «огороджене місце, поселення»: Brighton, Southampton; -ham «дім, садиба»: Nottingham, Birmingham; -ford «брід»: Oxford дослівно «брід для волів».

Скандинавське завоювання та доба вікінгів залишили виразний відбиток на топонімічній карті Британії, насамперед у межах території «Данського права» (Danelaw) на півночі та сході країни. Вплив давньоскандинавської мови

простежується через специфічні форманти: -by зі значенням «поселення, село» (Derby, Whitby) та -thorpe – «хутір, виселок» (Scunthorpe).

Назви багатьох населених пунктів Британії зберігають відомості про соціальний статус їхніх господарів. Наприклад, елементи у складі топонімів Kingston (King's town) – «королівське поселення»; Earlscourt – «двір графа»; Bishop's Stortford – «власність єпископа» прямо вказують на королівську, графську чи церковну приналежність земель, підкреслюючи історичну значимість права власності для англійського суспільства.

Окремим аспектом дослідження є релігійно-міфологічний контекст топонімів, які відображають еволюцію світогляду від язичництва до християнства. Показовими прикладами християнської агіопоніміки є назви на кшталт St. Albans та St. Ives, утворені від імен святих. Синкретизм язичницьких і християнських традицій знайшов відображення в англійській онімії, зокрема через топоформанти Kirk- (від давньоскан. kirkja – «церква», наприклад, Kirkby) та Stow (давньоангл. «сакральне місце») [7]. Етимологія назви Lund сягає скандинавських мов зі значенням «священний гай», що віддзеркалює сакральні язичницькі практики британців дохристиянської доби.

Англійці історично дуже прив'язані до особливостей своєї природи. Велика кількість назв деталізує саме рельєф, що підтверджують такі форманти, як -mouth «гирло річки»: Plymouth, Portsmouth, -bridge «міст»: Cambridge, -burgh / -bury «укріплений пагорб/замок»: Edinburgh, Canterbury.

Чимало сучасних географічних назв вийшли за межі суто топографічного позначення й набули виразних культурно-символічних конотацій. Показовими прикладами є Wall Street як метафора світового фінансового центру, Fleet Street, що тривалий час уособлювала британську журналістику, та Downing Street, яка сприймається як метонімія вищої виконавчої влади Великої Британії.

Таким чином, національно-культурна семантика англійської топонімії ґрунтується на практичності описів ландшафту, правовій традиції шанування власності та мовному консерватизмі, що дав змогу зберегти назви крізь віки. Топонімічна система Британії постає своєрідним «живим музеєм», де кожен мовний формант документує багатовікову історію та культурну еволюцію народу.

Список використаних джерел

1. Бельмаз, Я. М. (2016). Етимологічні особливості топонімії Великої Британії. «Наукові записки. Серія: Філологічні науки». № 146.
2. Головащенко, Ю. С., Лесінська, О. М. & Новосадська, О. Б. (2024). Англійськомовні топонімічні назви кельтського походження та їх переклад українською мовою. «Наукові записки. Серія: Філологічні науки», (209), 87–92.
3. Лабінська, Г. М. (2016). Топоніміка: навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
4. Савранчук, І. П. & Тхор, Н. М. (2024). Структури та семантичні особливості британських топонімів. Записки з романо-германської філології. Одеса: Астропринт. Вип. 1 (52), 171–179.

5. Cameron, K. (1963). English Place Names. London: B. T. Batsford.
6. Mills, A. (2011). A Dictionary of British Place Names: Oxford University Press. 1184 p.
7. Online Etymology Dictionary. Retrieved from: https://www.etymonline.com/ua

ФОРМУВАННЯ ІНШОМОВНОЇ ЛЕКСИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТАРШОКЛАСНИКІВ ЗАСОБАМИ ГЕЙМІФІКАЦІЇ

Зелінська Тетяна Сергіївна
магістр
Кафедра іноземних мов
Вінницький державний педагогічний
університет імені Михайла Коцюбинського
м. Вінниця, Україна

Анотація. У тезах обґрунтовано педагогічний потенціал гейміфікації у формуванні іншомовної лексичної компетентності старшокласників. На основі аналізу сучасних відкритих наукових праць уточнено зміст лексичної компетентності, визначено найбільш продуктивні елементи гейміфікованого навчання та окреслено умови їх методично доцільного використання на уроках англійської мови. Показано, що ефективність гейміфікації пов'язана не з формальним введенням балів чи рейтингу, а з систематичним вилученням лексичних одиниць із пам'яті, контекстуалізацією, оперативним зворотним зв'язком, варіативним повторенням і переходом від розпізнавання слова до його самостійного вживання. Узагальнено результати досліджень зі старшокласниками, які засвідчують позитивну динаміку залученості та лексичних результатів за умови педагогічно виваженого дизайну і поєднання цифрових ігор з комунікативними завданнями.

Ключові слова: іншомовна лексична компетентність, старшокласники, гейміфікація, англійська мова, лексичні навички, цифрові освітні технології, мотивація.

Введення.

Лексична компетентність посідає центральне місце у структурі іншомовної комунікативної компетентності, оскільки недостатній словниковий запас безпосередньо обмежує розуміння тексту, усне висловлювання, письмо та здатність підтримувати взаємодію. У CEFR Companion Volume лексичний розвиток представлено через два взаємопов'язані параметри- vocabulary range і vocabulary control. Перший характеризує широту та різноманітність лексичного репертуару, другий - здатність доречно обирати одиниці з цього репертуару, при цьому лексичний діапазон стосується і рецепції, і продукції [1]. Для старшої

школи це принципово: учень має не лише впізнати або перекласти слово, а й вибрати його відповідно до ситуації, поєднати з іншими словами, використати у власному висловленні .

Разом із тим традиційне заучування списків слів часто забезпечує короткочасне запам'ятовування, але не завжди створює достатню кількість повторних звернень до лексичної одиниці та не гарантує її переходу до активного словника. Старшокласники працюють із більшими масивами абстрактної,тематичної й академічної лексики, тому потребують навчальних дій, які поєднують повторення з вибором, проблемністю та використанням слова у контексті. Одним із засобів організації такої діяльності є гейміфікація - використання окремих елементів і принципів ігрового дизайну в неігровому навчальному середовищі. Систематичні огляди EFL/ESL-досліджень показують, що найчастіше застосовуються зворотний зв'язок, бали, вікторини, цифрові значки, рейтинги, нагороди, рівні, часові обмеження та виклики [4].

Мета та задачі дослідження.

Мета дослідження полягає в теоретичному обґрунтуванні можливостей гейміфікації для формування іншомовної лексичної компетентності старшокласників. Для досягнення мети поставлено такі задачі: уточнити зміст лексичної компетентності у сучасній методиці навчання іноземних мов; проаналізувати результати досліджень щодо впливу гейміфікації на засвоєння іншомовної лексики; визначити методично доцільні елементи гейміфікованого навчання; окреслити педагогічні умови, за яких ігрові механіки сприяють не лише мотивації, а й реальному розширенню активного словника. Використано методи теоретичного аналізу, порівняння, узагальнення та інтерпретації результатів сучасних емпіричних і оглядових досліджень.

Результати дослідження і їх обговорення.

Аналіз наукових праць свідчить, що гейміфікацію доцільно розглядати передусім як спосіб проєктування навчальної активності, а не як набір зовнішніх винагород. Метааналіз M. Sailer і L. Homner (2020) виявив статистично значущі позитивні ефекти гейміфікації для когнітивних, мотиваційних і поведінкових результатів навчання. Водночас автори підкреслюють роль соціальної взаємодії, що співпраця та конструктивне змагання можуть підтримувати відчуття компетентності й належності до групи. Тоді як конкуренція, побудована лише на перемозі над іншими, здатна послаблювати внутрішню мотивацію. Отже, рейтинг сам по собі не формує лексичної компетентності. Він має сенс лише тоді, коли за ним стоїть змістовна мовна дія. Для старшої школи це положення особливо важливе. Систематичний огляд G. Kaya та H. Cilsalar Sagnak (2022), присвячений учням віком 11-18 років, показав, що ігрові та гейміфіковані формати здатні підвищувати мотивацію, участь у навчанні й автономність школярів. Проте мотиваційний ефект варто трактувати як умову для навчальної дії, а не як кінцевий результат. Якщо учень швидко натискає правильну відповідь у вікторині, це ще зовсім не означає, що слово стало частиною його продуктивного словника. Тому завдання повинні поступово ускладнюватися, тобто від співвіднесення форми й

значення до вибору слова в контексті, відновлення колокації, перефразування, складання речення, короткого усного або письмового висловлення.

Емпіричні дані зі старшої школи підтверджують доцільність такого підходу. У дослідженні L. R. Octaberlina (2023) брали участь 60 старшокласників, поділених на експериментальну й контрольну групи. Після використання гри Harvest Moon як додаткового засобу опрацювання лексики середній результат експериментальної групи у посттесті становив 88,30 бала, контрольної - 76,47; різниця була статистично значущою. Авторка пов'язує позитивну динаміку з контекстуалізованим уживанням слів та залученістю учнів, але водночас прямо вказує на обмеження, а саме на:невелику вибірку, коротку тривалість втручання та відсутність перевірки віддаленого збереження лексики. Ці застереження є методично важливими. Гейміфікація не скасовує потреби у повторенні через часові інтервали.

Ще ближчим до умов звичайного уроку є дослідження L. A. Thu та P. T. T. Huyen (2026), проведене з 40 учнями 11 класу віком 16-17 років. Під час використання Wordwall автори зафіксували вищі показники мотивації та залученості порівняно з недигітальними іграми;середній інтегральний показник учнівських оцінок становив 4,35 проти 2,89 за п'ятибальною шкалою. Спостереження також засвідчили зростання поведінкової, когнітивної та емоційної залученості упродовж циклів роботи. Особливо показово, що дослідники пов'язують результат не просто з "цифровістю" інструмента, а з миттєвим зворотним зв'язком, повторним контактом із цільовою лексикою, часовими викликами та взаємодією з однолітками. Саме ці механізми мають переноситися у методику, а не механічне використання конкретної платформи.

Узагальнення наведених праць дає підстави виокремити кілька етапів гейміфікованого формування лексичної компетентності. На першому етапі вчитель визначає тематичний лексичний мінімум та очікуваний результат: що саме старшокласник повинен розуміти, упізнавати і вміти вживати. Далі нова лексика подається в змістовному контексті, до прикладу: у короткому тексті, діалозі, ситуації, аудіо- або відеофрагменті. Після цього організовується серія коротких ігрових циклів: співвіднесення, класифікація, пошук відповідника, відновлення словосполучень, вибір слова за контекстом, змагання команд, "місії" або рівні з поступовим ускладненням. На завершальному етапі лексика обов'язково переходить у продуктивну діяльність: мінідіалог, аргументовану відповідь, рольову ситуацію, мікротекст або усний коментар. Без цього переходу гейміфікація ризикує залишитися тренуванням упізнавання.

Доцільним є також принцип варіативного повторення. Одне й те саме слово не повинно з'являтися лише в однаковому тестовому форматі. Спочатку учень може співвіднести слово з визначенням, потім відновити його в реченні, далі дібрати колокацію, а через кілька уроків - використати в дискусії або письмовому повідомленні. Так формується не лише широта словника, а й контроль його використання, що узгоджується з логікою CEFR [1]. Для старшокласників доречними є командні квести, персональні траєкторії рівнів, накопичення балів

за якість мовного продукту, а не тільки за швидкість, а також “бонуси” за доречне вживання нової лексики у спонтанному мовленні.

Окремої уваги потребують обмеження. Систематичний огляд S. Zhang і Z. Hasim (2023) поряд із перевагами фіксує технічні проблеми, короткочасність позитивного ефекту та можливий негативний вплив надмірної конкуренції. Отже, педагогічно виправдана гейміфікація передбачає альтернативні способи досягнення успіху: індивідуальний прогрес, командний результат, можливість повторної спроби, завдання різного рівня складності. Не всі учні мають однаково швидку реакцію, стабільний інтернет або позитивне ставлення до публічного рейтингу. Тому справедливість і доступність дизайну мають таке саме значення, як його привабливість.

Висновки.

Формування іншомовної лексичної компетентності старшокласників засобами гейміфікації є перспективним за умови, що ігрові механіки підпорядковані чітким мовним цілям. Аналіз сучасних досліджень дозволяє стверджувати: найбільшу методичну цінність мають не бали або значки як такі, а ті можливості, які вони організовують - багаторазове вилучення слова з пам’яті, різні контексти його використання, швидкий зворотний зв’язок, поступове ускладнення завдань, співпрацю та перехід до продуктивного мовлення. Саме в такій моделі гейміфікація підтримує і мотиваційний, і власне лінгвістичний компоненти навчання.

Перспективою подальшого дослідження є експериментальна перевірка системи гейміфікованих вправ для учнів 10-11 класів із відкладеним посттестом, що дасть змогу оцінити не тільки негайне запам’ятовування, а й стійкість лексичних навичок та здатність переносити вивчені одиниці у нові комунікативні ситуації.

Список використаних джерел

1. Council of Europe. (2020). Common European Framework of Reference for Languages: Learning, teaching, assessment – Companion volume. Council of Europe Publishing. https://rm.coe.int/common-european-framework-of-reference-for-languages-learning-teaching/16809ea0d4
2. Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. Educational Psychology Review, 32, 77–112. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w
3. Kaya, G., & Cilsalar Sagnak, H. (2022). Gamification in English as second language learning in secondary education aged between 11–18: A systematic review between 2013–2020. International Journal of Game-Based Learning, 12(1), 1–14. https://doi.org/10.4018/IJGBL.294010
4. Zhang, S., & Hasim, Z. (2023). Gamification in EFL/ESL instruction: A systematic review of empirical research. Frontiers in Psychology, 13, 1030790. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1030790

5. Octaberlina, L. R. (2023). EFL learning gamification: Exploring high school learners' vocabulary acquisition through experimentation. SALIENCE: English Language, Literature, and Education Journal, 3(1), 12–22. https://repository.uin-malang.ac.id/14991/1/14991.pdf
6. Thu, L. A., & Huyen, P. T. T. (2026). The effects of Wordwall games on EFL learners' vocabulary acquisition at a high school in Vietnam. Educational Point, 3(1), e158. https://doi.org/10.71176/edup/18768

ЕМОЦІЙНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОЇ МІЖКУЛЬТУРНОЇ КОМУНІКАЦІЇ ПОЛІЦЕЙСЬКИХ

Баличева Анастасія Сергіївна
викладач
Кафедра професійної комунікації,
Національна академія внутрішніх справ,
м. Київ, Україна

В умовах євроінтеграції України та поглиблення міжнародного співробітництва у сфері безпеки особливого значення набуває здатність поліцейських ефективно взаємодіяти в міжкультурному середовищі. Міжкультурне спілкування є важливою складовою професійної діяльності правоохоронців, оскільки передбачає врахування культурних відмінностей, норм і цінностей учасників взаємодії. У цьому контексті значну роль відіграє емоційний інтелект як психологічна властивість, що забезпечує адекватне сприйняття, розуміння та регуляцію емоцій у процесі спілкування.

Значущість емоційного інтелекту в нашому житті важко переоцінити. Емоції тісно пов'язані з раціональним мисленням, а не є чимось окремим від нього. Емоційний інтелект визначає нашу здатність розпізнавати, розуміти, виражати емоції та керувати ними, і ця навичка має вагомий вплив на різні аспекти нашого життя [2].

Емоційний інтелект розглядають як здатність людини усвідомлювати власні емоції, розуміти почуття інших, використовувати емоції для прийняття рішень і керувати своїм емоційним станом. У роботі правоохоронця це проявляється у вмінні зберігати самоконтроль, уникати конфліктів та створювати довірчі стосунки.

У професійній діяльності правоохоронців емоційний інтелект набуває особливої значущості. Він виявляється у здатності до ефективного самоконтролю в умовах підвищеного стресу, а також у вмінні своєчасно запобігати конфліктним ситуаціям і конструктивно їх розв'язувати. Крім того, емоційний інтелект сприяє формуванню довірливих взаємин «правоохоронець–громадянин», що є важливою передумовою результативної комунікації та належного виконання службових обов'язків. [4].

Міжкультурна комунікація полягає у взаємодії людей, які належать до різних культурних груп і, відповідно, мають відмінності у цінностях, нормах поведінки та стилях спілкування. У таких ситуаціях емоційний інтелект є важливим елементом ефективної взаємодії, оскільки допомагає поліцейському:

- правильно розуміти емоційні реакції представників інших культур;
- впорядковувати власні емоції у стресових ситуаціях;
- проявляти емпатію;
- уникати міжкультурних непорозумінь.

Емоційний інтелект дозволяє працівникам правоохоронних органів розпізнавати свої емоційні реакції у стресових ситуаціях і вчасно контролювати їх. Це допомагає уникати імпульсивних рішень, які можуть негативно вплинути на професійну діяльність і взаємодію з громадянами. Усвідомлення власних емоцій сприяє формуванню більш зваженої поведінки, що особливо необхідно в умовах конфліктних ситуацій, які часто виникають у сфері правоохоронної діяльності [1].

Важливо звернути особливу увагу на такі аспекти емоційного інтелекту, як саморегуляція, самосвідомість, емпатія, мотивація та соціальні навички. Саме ці складові були виокремлені Д. Гоулманом як основні компоненти емоційного інтелекту, і саме вони дозволяють правоохоронцю ефективно працювати в умовах міжкультурного середовища [3].

На практиці поліцейські часто мають справу з ситуаціями, які вимагають високого рівня емоційної стійкості: робота з іноземцями, участь у міжнародних операціях, взаємодія з біженцями. У таких умовах низький рівень емоційного інтелекту може призвести до конфліктів, непорозумінь та зниження ефективності виконання професійних завдань.

Важливим елементом є розвиток емоційного інтелекту під час навчання правоохоронців. Для цього можна застосовувати тренінги, рольові ігри, моделювання ситуацій, які відображають взаємодію з громадянами інших культур, а також використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології. Тому емоційний інтелект є вагомим елементом ефективної міжкультурної комунікації для правоохоронців. Його розвиток приносить позитивні зміни в професійну роботу, допомагає зменшити конфлікти та забезпечити ефективну співпрацю в міжнародних умовах. Особливо це відчувається тоді, коли поліцейські можуть точно виявляти емоції співрозмовників, враховувати їхні культурні особливості та правильно обирати спосіб спілкування. Такий підхід є корисним у ситуаціях високого рівня напруженості, стресу та неоднозначності, які часто трапляються в правоохоронній діяльності.

Крім того, розвинений емоційний інтелект допомагає створювати довіру між поліцейськими та громадянами з різних культурних груп, а це є важливою умовою для ефективного спілкування та запобігання конфліктам. Він також підвищує здатність до емпатії, толерантності та відкритості, що дозволяє уникати стереотипів й упередженого оцінювання.

Отже, постійне вдосконалення емоційного інтелекту має стати частиною професійної підготовки працівників правоохоронних органів, оскільки воно не тільки підвищує ефективність комунікації між людьми з різними культурними традиціями, а й загалом допомагає сформувати сучасного, компетентного та психологічно стійкого правоохоронця, здатного діяти відповідно до міжнародних стандартів у сфері безпеки.

Список використаних джерел

1. Гіренко С. П., Ільяшова А. С. Роль емоційного інтелекту у працівників Національної поліції як інструмент подолання професійного вигорання. Трансформаційні процеси безпекового середовища у воєнний час: зб. доп. за результатами круглого столу (Кам'янське, 2025 р.). Кам'янське, 2025. С. 67-68.
2. Головань Т. Необхідність розвитку емоційного інтелекту EQ : Світ виховання. 2010. №3. С. 29-30.
3. Гоулман Д. Емоційний інтелект. Київ : Наш формат, 2018. 512 с.
4. Лопатинська І. С. Емоційний інтелект правоохоронця. Українська поліцеїстика: теорія, законодавство, практика. 2024. 3(1), 145–150. DOI: https://doi.org/10.32366/2709-9261-2022-3-1-145-150

Section: Physical and Mathematical Sciences

СТВОРЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ ПОХІДНОЇ В КУРСІ МАТЕМАТИКИ СТАРШОЇ ШКОЛИ

Михайленко Василь
професор
Каракой Наталія
аспірант
Кафедра фізики та математики
Житомирський державний університет
імені Івана Франка, Україна

Анотація. У роботі розкрито методичні можливості проблемного підходу під час формування поняття похідної у старшій школі. Вихідною позицією стало розуміння похідної не лише як результату формального диференціювання, а як способу опису локальної зміни величини. Виокремлено три змістові лінії, навколо яких доцільно створювати проблемні ситуації: перехід від середньої швидкості до миттєвої, наближення січних до дотичної та узгодження числового, графічного і словесного подання швидкості зміни. Запропоновано послідовність дій учителя, за якої суперечність виникає з доступної учням задачі, а означення похідної з'являється як відповідь на пізнавальну потребу. Обґрунтовано умови, що підтримують самостійне висування припущень, перевірку наближень і перехід до математичного узагальнення.

Ключові слова: проблемне навчання, локальна швидкість зміни, дотична, січна, математичне поняття, старша школа.

Введення

Тема похідної поєднує кілька способів математичного мислення: роботу з функцією, оцінювання зміни величини, інтерпретацію графіка та перехід до граничного процесу. У чинній навчальній програмі з математики для 10–11 класів похідна та її застосування входять до змісту старшої школи, а компетентнісна спрямованість курсу передбачає використання математичних знань у нових і практично значущих ситуаціях [1]. Проте саме на етапі введення похідної легко виникає розрив між формулою та її змістом. Учень може засвоїти правила диференціювання, не пов'язуючи похідну з локальною швидкістю зміни або нахилом дотичної. Такий розрив підтверджують дослідження з дидактики математичного аналізу. A. Orton виявив труднощі під час переходу від середньої швидкості зміни на інтервалі до швидкості зміни в окремій точці [2]. M. Zandieh показала, що повноцінне розуміння похідної охоплює взаємопов'язані способи її подання – графічний, числовий, словесний і символічний [3]. B. Ubuz пов'язала типові помилки з недостатнім розумінням границі, змішуванням процесу та

результату і труднощами переходу між графічним та символічним поданнями [4]. Новіші результати G. Greefrath et al. також засвідчили, що уявлення про похідну як локальну швидкість зміни та як кутовий коефіцієнт дотичної формуються нерівномірно, тому їх доцільно розвивати через різні типи навчальних ситуацій [5].

Проблемний підхід дає змогу змінити сам момент появи нового поняття. Замість повідомлення готового означення учні стикаються із задачею, для якої наявних засобів уже недостатньо. Потреба в новому математичному об'єкті виникає з пошуку способу розв'язання. Така логіка відповідає загальним засадам problem-based learning, де опанування змісту відбувається через кероване розв'язування проблеми та осмислення способу дії [6]. У навчанні похідної це особливо важливо, оскільки граничний перехід має сприйматися не як формальна вимога означення, а як засіб отримання характеристики зміни в конкретний момент.

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження полягала в обґрунтуванні методичних умов створення проблемних ситуацій, які сприяють змістовому формуванню поняття похідної в курсі математики старшої школи. Для досягнення мети було поставлено задачі: визначити основні змістові труднощі, що виникають під час введення похідної; встановити, яка пізнавальна суперечність може стати основою проблемної ситуації; розробити послідовність проблемних завдань для переходу від середньої до миттєвої швидкості зміни та від січної до дотичної; окреслити способи педагогічного супроводу, що зберігають самостійність математичного пошуку учнів. Дослідження мало теоретико-методичний характер і спиралося на аналіз навчальної програми, результатів досліджень з дидактики математичного аналізу та методичне моделювання навчальних ситуацій.

Результати дослідження та їх обговорення

Ключовою умовою проблемного введення похідної є така постановка задачі, за якої учень уже володіє достатніми засобами для початку пошуку, але ці засоби не дають завершеної відповіді. Якщо суперечність виникає до актуалізації необхідних попередніх знань, задача сприймається як недоступна. Якщо ж спосіб розв'язання очевидний і зводиться до відтворення відомого алгоритму, проблемна ситуація фактично зникає. Тому перед введенням похідної доцільно актуалізувати поняття функції, приросту аргументу і функції, середньої швидкості, кутового коефіцієнта прямої та січної до графіка.

Першу проблемну ситуацію доцільно будувати навколо питання про швидкість руху в окремий момент. Наприклад, нехай пройдений шлях описано залежністю $s(t)=t^2$. Учням пропонується знайти швидкість тіла саме в момент $t=2$ с. Відомий спосіб обчислення середньої швидкості потребує проміжку часу, тому безпосередньо застосувати його до одного моменту неможливо. Учні можуть обчислити середню швидкість на відрізках від 2 до 3 с, від 2 до 2,5 с, від 2 до 2,1 с і від 2 до 2,01 с. Отримані значення 5; 4,5; 4,1; 4,01 м/с утворюють послідовність наближень до 4 м/с. Важливим тут є не саме число 4, а питання вчителя: чому

скорочення проміжку часу робить оцінку точнішою і що означає результат, коли довжина проміжку прямує до нуля? Учні фактично відкривають потребу в граничному переході раніше, ніж отримують формальне означення похідної.

У цій ситуації методично недоцільно одразу записувати готову формулу та пояснювати її складові. Продуктивнішим є короткий етап прогнозування: учні висловлюють припущення щодо наступних значень середньої швидкості, пояснюють напрям зміни чисел і формулюють, до якого значення вони наближаються. Так відбувається перехід від обчислювальної дії до змістового узагальнення. Дослідження F. Hitt і S. Dufour, проведене на матеріалі відкритого завдання про швидкість, показало, що робота з ситуаційною проблемою та різними поданнями величин підтримує побудову поняття похідної через власні дії учнів [7].

Друга проблемна ситуація переводить той самий зміст у геометричну площину. Для графіка $y=x^2$ можна зафіксувати точку P(1;1) та послідовно обирати точки Q з абсцисами 2; 1,5; 1,1. Кутові коефіцієнти відповідних січних дорівнюють 3; 2,5; 2,1. Учні помічають, що зі зближенням P і Q січна змінює положення, а її нахил наближається до певного значення. Проблемне питання формулюється так: як знайти точний нахил прямої, що описує напрям графіка безпосередньо в точці P, якщо для обчислення кутового коефіцієнта прямої звичайним способом потрібні дві різні точки? Потреба перейти до граничного положення січної створює природний міст до поняття дотичної та геометричного змісту похідної. Така побудова запобігає поширеному спрощенню, коли дотичну учень уявляє лише як пряму, що має з графіком одну спільну точку. У контексті похідної суттєвим стає локальний характер наближення: дотична описує напрям графіка поблизу вибраної точки. G. Greefrath et al. віднесли нахил дотичної та локальну швидкість зміни до базових змістових моделей похідної [5]. Отже, дві проблемні ситуації – кінематична і геометрична – мають бути не альтернативними способами пояснення, а взаємопов’язаними етапами формування одного поняття.

Третя ситуація має забезпечити перехід між поданнями. Учням можна запропонувати графік функції без аналітичної формули і поставити запитання, у якій із позначених точок функція зростає найшвидше, де її зміна близька до нуля, а де вона спадає. На першому етапі відповідь ґрунтується на візуальному оцінюванні нахилу. Далі учні мають пояснити той самий висновок мовою дотичних і локальної швидкості зміни. Лише після цього вводиться символічне позначення похідної в точці. Така послідовність послаблює залежність розуміння від готової формули. У дослідженні S. Habre та M. Abboud робота з візуальними, числовими і символічними представленнями сприяла розумінню похідної як миттєвої швидкості зміни та нахилу кривої в точці [8].

На основі розглянутих ситуацій визначено чотири методичні умови їх використання. Перша полягає в змістовій доступності проблеми: контекст має бути зрозумілим без додаткового теоретичного апарату. Друга умова – можливість отримати кілька наближень або варіантів відповіді, між якими учень

помічає закономірність. Третя – обов'язковий перехід між числовим, графічним і словесним представленнями, оскільки ізольоване опрацювання одного з них звужує образ поняття. Четверта – дозоване педагогічне керування. Учитель не повідомляє наступний крок, а ставить питання, які уточнюють суперечність: «Що саме ми зараз знаходимо?», «Чому цей результат є лише наближеним?», «Що змінюється, коли проміжок зменшується?», «Яке геометричне значення має отримане число?».

Послідовність формування поняття за проблемного підходу доцільно організувати як рух від явища до математичної характеристики. Спочатку учень спостерігає зміну величини в конкретній ситуації та обчислює середню швидкість зміни. Потім виникає потреба описати зміну в окремий момент. Серія наближень приводить до ідеї граничного значення. Геометричне моделювання через січні й дотичну пов'язує числовий результат із графіком. Після цього символічне означення похідної виконує функцію узагальнення вже сформованого змісту. Саме в такій логіці формула стає компактним записом способу міркування, а не початковим об'єктом для запам'ятовування. Водночас проблемність не слід ототожнювати з навмисним ускладненням завдання. Пізнавальна суперечність має бути локальною і керованою: учень розуміє запитання, може розпочати розв'язання та бачить, де саме відомого способу бракує. Це відрізняє проблемну ситуацію від задачі з прихованою умовою або надмірною кількістю нових елементів. З позицій C. E. Hmelo-Silver, ефективність проблемного навчання пов'язана саме з педагогічним супроводом, який допомагає учням визначити, яких знань їм не вистачає, та спрямовує подальший пошук [6]. Для теми похідної таким об'єктом пошуку стає спосіб кількісно описати локальну зміну.

Висновки

Проблемне введення похідної доцільно будувати навколо пізнавальної потреби визначити характеристику зміни в окремий момент або в окремій точці графіка. Методично продуктивними є три взаємопов'язані лінії: наближення середніх швидкостей до миттєвої швидкості, наближення січних до дотичної та узгодження числового, графічного і словесного представлень локальної зміни. За такої організації означення похідної завершує процес узагальнення, а не передує йому. Роль учителя полягає у доборі доступної суперечності, організації серії наближень і постановці запитань, які спонукають учнів пояснювати отримані результати. Запропонована логіка може бути використана як основа для розроблення системи проблемних завдань під час подальшого вивчення правил диференціювання та застосувань похідної.

Список використаних джерел

1. Міністерство освіти і науки України. Навчальна програма з математики (алгебра і початки аналізу та геометрія) для учнів 10–11 класів загальноосвітніх навчальних закладів. Рівень стандарту : затв. наказом МОН України від 23.10.2017 № 1407. URL:

https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/matematika.-riven-standartu.docx
2. Orton A. Students' Understanding of Differentiation. Educational Studies in Mathematics. 1983. Vol. 14, No. 3. P. 235–250. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00410540
3. Zandieh M. A theoretical framework for analyzing student understanding of the concept of derivative. Research in Collegiate Mathematics Education IV. CBMS Issues in Mathematics Education. 2000. Vol. 8. P. 103–127. DOI: https://doi.org/10.1090/cbmath/008
4. Ubuz B. Interpreting a graph and constructing its derivative graph: stability and change in students' conceptions. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology. 2007. Vol. 38, No. 5. P. 609–637. DOI: https://doi.org/10.1080/00207390701359313
5. Greefrath G., Oldenburg R., Siller H.-S., Ulm V., Weigand H.-G. Mathematics Students' Characteristics of Basic Mental Models of the Derivative. Journal für Mathematik-Didaktik. 2023. Vol. 44. P. 143–169. DOI: https://doi.org/10.1007/s13138-022-00207-9
6. Hmelo-Silver C. E. Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? Educational Psychology Review. 2004. Vol. 16, No. 3. P. 235–266. DOI: https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3
7. Hitt F., Dufour S. Introduction to calculus through an open-ended task in the context of speed: representations and actions by students in action. ZDM – Mathematics Education. 2021. Vol. 53, No. 3. P. 635–647. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-021-01258-x
8. Habre S., Abboud M. Students' conceptual understanding of a function and its derivative in an experimental calculus course. The Journal of Mathematical Behavior. 2006. Vol. 25, No. 1. P. 57–72. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2005.11.004

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.015.332-339

CHARACTERISTICS OF WATER GEYSERS ON TRITON

Vidmachenko Anatoliy Petrovych
Doctor Phys.-Math. Sci., Professor
Department of Physics
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Abstract. Triton, the largest natural satellite of Neptune, is considered an anomalous object within the Solar System. During the "Voyager 2" spacecraft's flyby of the Neptunian system, signs of ongoing geological activity were detected on Triton. Among all the large satellites in the Solar System, Triton is the only one that orbits its planet in a retrograde direction. Its orbital plane is inclined at an angle of 129.8° to the ecliptic, suggesting an origin outside the Neptunian system. Current models indicate that Triton formed as part of a binary dwarf planet system in the Kuiper Belt. This

binary system of planetesimals experienced a close encounter with Neptune during the early migration of the giant planets. Neptune's powerful tidal forces disrupted the gravitational bond between the two bodies, leaving only Triton in a highly eccentric and steeply inclined orbit around Neptune. Triton was subjected to significant tidal braking by Neptune. This generated substantial internal heating, leading to the complete melting of ice and silicates within Triton's interior and initiating the process of gravitational differentiation. The satellite's material separated into a metallic core, a silicate mantle, and a water-ice hydrosphere containing a subsurface liquid-water ocean. The most direct evidence of Triton's current dynamic activity is the detection of active geyser-like plumes. These active plumes erupt from the icy surface as narrow, high-speed columns, rising almost vertically to altitudes of up to 8 km. Upon reaching this height, a plume makes a sharp turn – shifting nearly 90 degrees – and begins to drift horizontally westward for over 100 – 150 km, driven by strong upper-tropospheric winds. The diameter of the rising column near Triton's surface is estimated to range from a few tens of meters to 1 kilometer, indicating that the eruption sources are localized points. Eruptions on Triton occur within a tenuous yet dynamic nitrogen atmosphere, exerting a global influence on the satellite's climate and appearance. Key evidence of this impact is found in the numerous dark streaks and fan-shaped deposits covering the bright surface of the southern polar cap. Spectral analysis reveals that this dark dust consists of tholins – complex nitrogen-bearing organic oligomers formed through photochemical reactions. The deposition of dark dust onto the bright polar cap by these geysers lowers its local albedo. These dark areas absorb more sunlight, locally accelerating nitrogen sublimation and intensifying atmospheric circulation, thereby creating a positive feedback loop between volcanism and the satellite's climate. Computer modeling of the satellite's thermal evolution has demonstrated that the gradual freezing and crystallization of its iron-sulfur core trigger intense convection of the liquid metal. This convection is capable of generating an intrinsic magnetic field. The presence of an active magnetic dynamo points to high internal temperatures and active volcanism on the ocean floor. The combination of liquid water, potent sources of chemical energy, biogenic elements, and internal heat makes Triton one of the most compelling targets in the search for extraterrestrial life.

Keywords: Triton, tidal braking, geyser-like plumes, tholins, intrinsic magnetic field.

Introduction. Triton, the largest natural satellite of Neptune, is considered an anomalous object within the Solar System. A major breakthrough in understanding its nature occurred in 1989, when the “Voyager 2” spacecraft made a close flyby of the Neptune system, revealing remarkable signs of ongoing geological activity. A significant cosmogonic anomaly of Triton lies in its unique orbital characteristics. Among all the large satellites in the Solar System – those massive enough to assume a spheroidal shape under their own gravity – Triton is the only one that orbits its planet in a retrograde direction. The satellite's orbital plane is inclined at an angle of 129.8° to the ecliptic, indicating an origin outside the local system. Current models suggest that Triton formed as part of a binary dwarf planet system in the Kuiper Belt.

The most plausible scenario for its arrival in Neptune's orbit is the three-body gravitational capture model proposed in [1]. According to this model, Triton was originally part of a binary planetesimal system that underwent a close encounter with Neptune during the early migration of the giant planets. The planet's intense tidal forces disrupted the gravitational bond between the two bodies; One component of the binary system was ejected into interplanetary space, carrying away excess kinetic energy, while Triton remained bound in a highly eccentric and steeply inclined orbit around Neptune.

The process of Triton's capture had catastrophic consequences for Neptune's original satellite system. Upon entering a highly elongated initial orbit, Triton was subjected to significant tidal braking by Neptune. This caused a substantial rise in internal temperature, leading to the complete melting of ice and silicates within Triton's interior and initiating gravitational differentiation. Consequently, the satellite's material separated into a metallic core, a silicate mantle, and a water-ice hydrosphere featuring a subsurface liquid-water ocean. These processes transformed Triton into a geologically dynamic world characterized by active cryovolcanism.

Possible water plumes – geysers. The most spectacular and direct evidence of Triton's ongoing dynamic activity was the discovery of active geyser-like plumes. “Voyager 2” recorded at least four active columns of gas and dust emissions; two of these were given official names: Mahilani (located at 2° E, 49° S) and Hili (28° E, 57° S).

Plume rise dynamics. Vertical ascent: Active plumes erupt from the icy surface as narrow, high-speed columns, rising almost vertically to an altitude of up to 8 km. At this height, the density of Triton's surrounding tenuous atmosphere [3, 7, 11, 21, 27] matches the density of the erupted gas, causing the vertical ascent to cease.

Horizontal spreading and drift: Upon reaching an altitude of 8 km, the plume makes a sharp turn of nearly 90° and begins to drift horizontally, driven by strong upper-tropospheric winds. These dust-and-gas clouds stretch westward for distances exceeding 100–150 km, forming distinct elongated structures that cast sharp shadows onto the polar cap.

Vent geometry: The diameter of the rising column right at Triton's surface is estimated to range from a few tens of meters to 1 km, indicating the point-source nature of the eruptions.

Mass balance and eruption duration: Calculations of eruption parameters, based on cloud optical density and particle ballistic trajectories, reveal massive volumes of material transport. Each major vent erupts:

between 100 and 300 kg/s of pure gaseous nitrogen (N_2);

approximately 20 kg/s of fine-grained nitrogen ice;

up to 10 kg/s of ultrafine dark organic dust (tholins) with particle sizes of less than 2 micrometers.

The eruptions are not instantaneous geyser-like bursts but are continuous in nature, lasting for an Earth year or longer. During a single annual cycle of activity, an individual plume can transport up to 100 million cubic meters (0.1 km^3) of nitrogenous material to the surface and disperse it into the atmosphere.

Geysers on various bodies. The geysers of Triton [2, 6, 12] represent a distinct physical class of cosmic plumes, differing significantly from their counterparts on other bodies in the Solar System. On Earth, geysers are powered by endogenous thermal energy, with superheated liquid water serving as the working fluid; this water boils as it rises through narrow silicate channels. On Enceladus, endogenous plumes erupt from a global subsurface salty ocean through tectonic fractures (the so-called "tiger stripes") directly into open space, as the moon lacks a significant atmosphere.

In contrast, eruptions on Triton occur within a tenuous yet dynamic nitrogen atmosphere. The key difference is that most of Triton's geysers – assuming the solar greenhouse model is correct – derive their primary energy not from the interior, but from accumulated sunlight, making them unique "heliothermal" volcanic features.

Cryoclastic eruptions on Triton are inextricably linked to gas-dynamic processes in its tenuous atmosphere and exert a global influence on the moon's climate and appearance. Primary evidence of this impact is found in the numerous dark streaks and fans covering the bright surface of the southern polar cap.

Morphology and geography of dark fans. During the "Voyager 2" flyby, over 120 dark fan-shaped deposits (streaks or fans) were recorded in the high-albedo southern polar region. They range in length from 5 to over 100 km, with widths reaching tens of kilometers at their expanding ends. These streaks form from the fallout of dark dust particles lofted to an altitude of 8 km by geysers. A distinctive feature of these fans is their strict spatial orientation. The vast majority of the streaks point northeast, indicating a constant and stable prevailing wind direction in Triton's lower atmosphere during these eruptions. Intense sublimation of nitrogen ice at the sunlit south pole creates a high-pressure zone. Gas masses begin to move actively northward into the colder winter hemisphere, where the nitrogen condenses back into ice. Due to Triton's slow axial rotation, the Coriolis force deflects these flows eastward, generating a steady northeasterly wind that transports the dust plumes from the geysers.

Chemical evolution and origin of tholins. The material forming the dark fans holds the key to understanding Triton's organic chemistry. Spectral studies indicate that this dark dust consists of tholins – complex nitrogen-bearing organic oligomers formed through photochemical reactions. Under the influence of harsh solar ultraviolet radiation and bombardment by charged particles from Neptune's magnetosphere, molecules of methane (CH_4), nitrogen (N_2), and carbon monoxide (CO) in the atmosphere and on the moon's, surface break apart and recombine into complex macromolecular compounds of carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen (CHON complexes). These compounds exhibit a characteristic dark red or brownish color and low albedo. Accumulating in the near-surface layers of nitrogen ice, they are periodically ejected by geysers, undergoing continuous mechanical and chemical redistribution across the moon's surface.

Impact on climate cycles. Triton undergoes a long and complex climate cycle lasting 688 Earth years, driven by Neptune's orbital motion around the Sun. Due to the high inclination of Triton's orbit, its polar regions alternately experience prolonged seasonal periods [17] of extreme summer and winter. When a pole tilts toward the Sun,

solar heating triggers large-scale sublimation of nitrogen ice, leading to a rise in atmospheric pressure (which fluctuates between 1.4 and 1.9 Pa over decades) and a sharp intensification of cryovolcanic activity.

The deposition of dark dust by geysers onto the surface of the bright polar cap reduces its local albedo. These dark patches begin to absorb more sunlight, locally accelerating nitrogen sublimation and intensifying atmospheric circulation, thereby creating a positive feedback loop between volcanism and the satellite's climate.

The possibility of seafloor volcanism. One of the most compelling topics in modern planetary science is the evidence supporting the classification of Triton as a full-fledged "Ocean World" [9, 10]. Furthermore, characteristics of its internal structure make the existence of active silicate volcanism [18, 19, 23, 24, 26] and vigorous hydrothermal activity at the base of the subsurface ocean highly probable.

Direct contact between the ocean and the silicate core. Unlike the larger icy moons of Jupiter and Saturn (such as Ganymede, Callisto, or Titan) [26] – where colossal pressure in the deep interior stabilizes high-pressure ice phases (ice VI and VII) that separate the liquid ocean from the rocky bed – Triton is relatively small in size and mass. The internal pressure at the boundary between Triton's hydrosphere and silicate mantle is insufficient to cause water to freeze into dense ice polymorphs.

This implies that the moon's liquid subsurface ocean, which is over 250 km thick, is in direct contact with a rocky core having a radius of approximately 1,000 km. Such contact is a fundamental prerequisite for the large-scale transport of heat and chemical elements directly from the interior into the hydrosphere.

Geochemistry of serpentinization and abiogenic synthesis. High temperatures at the core-ocean interface, sustained by radiogenic decay and residual tidal heat [4, 5], trigger serpentinization processes – a chemical interaction between water and the primary iron- and magnesium-rich ultramafic minerals of the core (such as olivine and pyroxenes). A typical olivine serpentinization reaction is described by the following equation:

$$6(Mg1.5Fe0.5)SiO_4 + 7H_2O \rightarrow 3Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + Fe_3O_4 + H_2.$$

This chemical process has extremely important implications for Triton's entire system:

1. Hydrogen release: The oxidation of ferrous iron (Fe^{2+}) to ferric iron (Fe^{3+}) within magnetite (Fe_3O_4) is accompanied by the release of vast quantities of free molecular hydrogen (H_2), which saturates the ocean's bottom waters. Hydrogen is a potent reducing agent and serves as a primary source of chemical energy.

2. Synthesis of methane and organic compounds: Free hydrogen reacts with dissolved carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO_2), leading to the abiogenic synthesis of methane (CH_4) and light hydrocarbons:

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O.$$

3. Formation of an alkaline barrier: Serpentinization leads to a sharp increase in fluid pH (pH > 9) and the mobilization of metals (iron, nickel, lithium).

Such seafloor hydrothermal systems are direct analogs to Earth's alkaline hydrothermal fields. They are capable of sustaining stable chemoautotrophic

ecosystems, making Triton one of the most promising locations for the search for extraterrestrial life [13, 16] – life that is entirely independent of sunlight.

Core magnetic dynamo and its detection. Research published in [15] has shown that Triton's metal-silicate core may remain thermally active to this day. Computer modeling of the satellite's thermal evolution has demonstrated that the gradual freezing and crystallization of the iron-sulfur core trigger intense convection of the liquid metal.

This convection is capable of generating an intrinsic magnetic field [15, 25] – a magnetic dynamo with a surface strength of approximately 1 μT. The presence of an active magnetic dynamo within Triton's core is a crucial factor. On one hand, it confirms high interior temperatures and active volcanism on the ocean floor. On the other hand, the satellite's intrinsic magnetic field could significantly complicate the detection of a subsurface ocean via magnetic induction (a method successfully employed for Europa by the *Europa Clipper* spacecraft), as the strong signal from the core's iron dynamo would mask the weak induced currents in the salty ocean water.

Conclusions. Volcanism on Triton is unique within the Solar System and represents a complex array of diverse processes. The study allows for the formulation of the following key conclusions.

Triton has evolved from a classic relict Kuiper Belt dwarf planet [20] into a dynamically active giant satellite. Its catastrophic gravitational capture by Neptune and prolonged tidal heating completely melted and differentiated its interior, creating a massive hot core, a silicate mantle, and a liquid subsurface ocean that persists to this day thanks to ongoing tidal mechanisms [8].

Unique nitrogen geysers currently operate on the surface, rising to heights of 8 km driven by a solar greenhouse effect and local geothermal anomalies. Simultaneously, large-scale eruptions of water-ammonia and methanol cryolavas occur within the lithosphere, forming the vast Sipango Planum, the giant Ruach lava lakes, and collapse calderas such as Leviathan Patera.

The combination of liquid water, potent sources of chemical energy (hydrogen and methane from serpentinization), biogenic elements (CHON complexes), and internal heat makes Triton one of the most compelling targets in the search for extraterrestrial life – life that could be entirely sustained by the interior's endogenous energy.

References

1. Agnor C.B., Hamilton D.P. (2006) Neptune's capture of its moon Triton in a binary-planet gravitational encounter. Nature. 441(7090), p. 192–194. https://doi.org/10.1038/nature04792
2. Brown R.H., Kirk R.L., Johnson T.V., Soderblom L.A. (1990) Energy sources for Triton's geyser-like plumes. Science, 250(4979), 431-435. https://doi.org/10.1126/science.250.4979.431
3. Elliot J.L., Person M.J., McDonald S.W., et al. (2000) The prediction and observation of the 1997 July 18 stellar occultation by Triton: More evidence for distortion and increasing pressure in Triton's atmosphere. Icarus. 148(2), p. 347–369. https://doi.org/10.1006/icar.2000.6493

4. Hammond N.P., Collins G.C. (2024) Prolonged tidal heating and orbital evolution of Triton. Astrobiology. 24(3), p. 289–301. https://doi.org/10.1089/ast.2023.0045
5. Hammond N.P., Collins G.C. (2024) Triton's Captured Youth: Tidal Heating Kept Triton Warm and Active for Billions of Years. The Planetary Science Journal. 5(9), 200. https://doi.org/10.3847/PSJ/ad6744
6. Kirk R.L., Brown, R.H., Soderblom L.A. (1995). Subsurface energy storage and transport for solar-powered geysers on Triton. Journal of Geophysical Research: Planets. 100(E9), p. 18889-18901. https://doi.org/10.1029/95JE01994
7. Marques Oliveira J., Sicardy B., Gomes-Júnior A.R., et al. (2022) Constraints on the structure and seasonal variations of Triton's atmosphere from the 5 October 2017 stellar occultation and previous observations. Astronomy & Astrophysics. 659, A136. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141443
8. Nimmo F., Spencer J.R. (2015) Powering Triton's recent geological activity by obliquity tides: Implications for Pluto geology. Icarus. 246, p. 2-10. https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.01.044
9. Saur J., Duling S., Schilling N., Steinbrügge G. (2024) Sounding Triton's interior ocean with electromagnetic induction at the orbital period of Torb = 141 hours. Philosophical Transactions of the Royal Society A. 382(2268), 20240087. https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0087
10. Schenk P., Beddingfield C., Bertrand T., et al. (2021) Triton: Topography and Geology of a Probable Ocean World with Comparison to Pluto and Charon. Remote Sensing. 13(17), 3476. https://doi.org/10.3390/rs13173476
11. Sicardy B., Tej A., Gomes-Júnior A.R., et al. (2024) Constraints on the evolution of the Triton atmosphere from occultations: 1989–2022. Astronomy & Astrophysics. 682, L24. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202348756
12. Soderblom L.A., Kieffer S.W., Becker T.L., et al. (1990) Triton's geyser-like plumes: Discovery and basic characterization. Science. 250(4979), p. 410-415. https://doi.org/10.1126/science.250.4979.410
13. Steklov A.F., Vidmachenko A.P. (2019) In What Places and What Exactly Can be the" Traces" of Life on Mars? Ninth International Conference on Mars, Pasadena, California, Jul 22-25, 2019, LPI Contrib. No. 2089, 6007.
14. Tilke L.J., Trinh K.T., O'Rourke J.G. (2026) A modern dynamo at Triton as a consequence of its capture by Neptune. Nature Astronomy. 10(8), p. 1119–1128. https://doi.org/10.1038/s41550-026-02868-9
15. Vidmachenko A.P. (2012) Magnetic field of planets, satellites and asteroids. Astronomical School's Report. 8(1), p. 136-148.
16. Vidmachenko A.P. (2015) Seasons on Saturn. 1. Changes in reflecting characteristics of the atmosphere at 1964-2012. Astronomical School's Report. 11(1), p. 1-14.
17. Vidmachenko A.P. (2016) Traces of life on Mars must be sought around the valley Hellas in areas where the water coming out from under the planet's surface // 18 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists, the

program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May 26-27, 2016. P. 14-16.
18. Vidmachenko A.P. (2018) Features of volcanic activity on various bodies of the Solar system. Materials of the International Scientific and Practical Conference "The Objectives of the Sustainable Development of the Third Millennium: Challenges for Universities of Life Sciences", vol. 5, May 23-25, 2018, Kyiv, p. 41-42.
19. Vidmachenko A.P. (2018) Features of volcanoes on different Solar system bodies. Astronomical School's Report. 14(1), p. 1-14.
20. Vidmachenko A.P. (2018) Space probe "New Horizons" continues to study the Kuiper belt. Astronomical almanac. 65, p. 227-238.
21. Vidmachenko A. P. (2026) The atmosphere of Neptune's moon Triton and its seasonal changes. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference "Innovations in Science: From Theoretical Foundations to Practical Impact" (August 31 – September 2, 2026, Antwerp, Belgium). European Open Science Space. P. 299-310. https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2026/09/DOI_022_Vidmachenko.pdf
22. Vidmachenko A.P. (2026) Geophysical, gravitational, and magnetic data on Neptune's moon Triton. Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference "Global Directions in Scientific Research and Technological Development" (September 7-9, 2026, Valencia, Spain). European Open Science Space. P. 238-248. https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2026/09/DOI_010_Vidmachenko.pdf
23. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) Activity of volcanic processes on Jupiter's Moon Io. Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference. International scientific innovations in human life. (March 16-18, 2022). Chapter 12. Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom. P. 80-89.
24. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) Active volcanism shows changes on the surface of Jupiter's Moon Io. Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. (March 29-31, 2022). Chapter 17. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. P. 104-113.
25. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) Manifestations of seasonal changes on Saturn's moon Titan. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Innovations and prospects of world science. (April 28-30, 2022). Chapter 59. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. P. 354-364.
26. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) Volcanoes on Triton among the kingdom of ice. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. Modern directions of scientific research development. Chapter 19. BoScience Publisher. Chicago, USA. P. 141-150.
27. Yuan Y., Zhang C., Li F., et al. (2024) New constraints on Triton's atmosphere from the 6 October 2022 stellar occultation. Astronomy & Astrophysics. 684, L13. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202348460

Section: Physical Culture and Sports

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ПРАВООХОРОНЦІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Стецюк Ангеліна Дмитрівна
курсант навчальної групи 304 навчально-наукового інституту №1
Харківського національного університету внутрішніх справ,
рядовий поліції
Бодик Марина Анатоліївна
курсант навчальної групи 304 навчально-наукового інституту №1
Харківського національного університету внутрішніх справ,
капрал поліції
Науковий керівник
Омельяненко Іван Андрійович
Старший викладач кафедри , тренер збірної команди ХНУВС
з футболу та міні-футболу
https://orcid.org/0009-0008-8040-5417

Сучасні загрози національній безпеці, спричинені повномасштабною збройною агресією проти України, висувають до правоохоронних органів підвищені вимоги щодо їхньої професійної та функціональної спроможності. За таких умов особливої ваги набуває готовність поліцейських діяти у стресових, екстремальних і бойових обставинах.

Результативність виконання службових завдань визначається не лише рівнем правової підготовки та тактичної майстерності, а й фізичною витривалістю працівників, їхньою здатністю переносити значні навантаження, оперативно реагувати на мінливі загрози та працювати в умовах підвищеного ризику для життя.

Запровадження воєнного стану суттєво трансформує зміст діяльності поліції: поряд із забезпеченням громадського порядку зростає роль участі у протидії диверсійно-розвідувальним групам, виконанні завдань територіальної оборони, евакуації населення та підтриманні правопорядку у прифронтових регіонах [1, с.436]. Розширення кола повноважень і функцій обумовлює необхідність комплексного підходу до розвитку фізичних якостей і витривалості правоохоронців.

Організація ефективного тренувального процесу та підтримання належного рівня фізичної підготовленості набувають не лише професійного, а й стратегічного значення. Від цього залежить спроможність поліції гарантувати безпеку громадян і забезпечувати результативну взаємодію з військовими формуваннями в умовах сучасної війни. Упровадження науково обґрунтованих підходів до фізичної підготовки сприятиме підвищенню бойової готовності особового складу та зміцненню стійкості державних інституцій у кризовий період.

Фізична підготовка працівників поліції в умовах воєнного стану набуває не лише прикладного, а й глибокого правового та етичного змісту. У період

збройної агресії та підвищених безпекових ризиків саме здатність поліцейського діяти впевнено, швидко й контрольовано стає важливою гарантією дотримання принципу пропорційності під час застосування сили. Адже що вищий рівень фізичної та психофізичної підготовленості правоохоронця, то менша ймовірність надмірної реакції в критичній ситуації [2].

Пропорційність застосування сили передбачає відповідність обраних заходів характеру й рівню загрози. У стресових умовах воєнного стану, коли ризики для життя зростають, поліцейський змушений ухвалювати рішення миттєво. Саме фізична витривалість, розвинена координація, сила та швидкість реакції дозволяють йому обрати адекватний спосіб впливу — від вербального переконання до спеціальних засобів чи фізичного примусу. Добре підготовлений працівник здатен локалізувати небезпеку з мінімально необхідним рівнем сили, не виходячи за межі законодавчо визначених повноважень.

В умовах воєнного стану функції поліції значно розширюються: забезпечення публічної безпеки в прифронтових регіонах, участь у стабілізаційних заходах, протидія диверсійним загрозам, евакуація цивільного населення. Такі завдання потребують не лише правової обізнаності, а й високого рівня фізичної стійкості. Неналежна фізична форма може призвести до перевтоми, втрати самоконтролю або помилкових дій, що створює ризик непропорційного застосування сили [3]. Натомість системна фізична підготовка формує здатність діяти чітко, виважено та в межах необхідності.

Фізична підготовка також безпосередньо пов’язана з психологічною стабільністю. Регулярні тренування підвищують стресостійкість, формують навички саморегуляції та впевненість у власних можливостях. Поліцейський, який довіряє своїй фізичній спроможності, менш схильний до панічних реакцій або імпульсивних рішень. Таким чином, фізична підготовленість стає основою професійної культури застосування сили — раціональної, контрольованої та правомірної.

Отже, фізична підготовка працівників поліції в умовах воєнного стану є важливою гарантією дотримання принципу пропорційності. Вона забезпечує здатність правоохоронців ефективно виконувати службові обов’язки, мінімізуючи шкоду та зберігаючи баланс між захистом суспільства й повагою до прав людини. У сучасних реаліях це не лише елемент професійної майстерності, а стратегічний чинник довіри до держави та її інституцій.

Список використаних джерел

1. Войхевич Д., Овчинников О., Порохнявий А. Важливість спеціальної фізичної підготовки для поліцейських //UNIVERSUM. 2024. №. 14. С. 435-439.
2. Кириченко А. В. Сучасні проблеми і головні завдання фізичної підготовки під час професійного вдосконалення працівників поліції // 2023. С. 59.
3. Жданова К. В., Порохнявий А. В. Роль спорту в підвищенні фізичної підготовки та стресостійкості співробітників Національної поліції України. 2024. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/items/2a73cc12-b27b-4662-920a-e714c1b0c249 (дата звернення- 18.02.2026)

ПРОФЕСІЙНО-ПРИКЛАДНА ФІЗИЧНА ПІДГОТОВКА СТУДЕНТІВ У КОЛЕДЖІ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ

Войнаровська Наталія
к.п.н. викладч
Пахолюк Андрій
викладч
Гапонюк Сергій
викладч
Волинський коледж харчових технологій. НУХТ
Луцьк, Україна

Анотація. У статті теоретично обґрунтовано та практично розроблено зміст програми професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) для студентів коледжів харчових технологій. Здійснено детальний професіографічний аналіз праці кухарів, кондитерів та технологів, виявлено провідні виробничі шкідливості (ортостатичні навантаження, термічний стрес, монотонність). Запропоновано диференційовані комплекси вправ та види спорту (пілатес, стретчинг, настільний теніс) з урахуванням гендерних особливостей студентського контингенту. Визначено організаційні форми інтеграції ППФП в освітній процес та систему комплексного тривекторного моніторингу психофізіологічної готовності випускників.

Ключові слова: професійно-прикладна фізична підготовка, коледж харчових технологій, виробничі шкідливості, ортостатичне навантаження, виробнича гімнастика, гендерний підхід, моніторинг.

Abstract

The article theoretically substantiates and practically develops the content of the professional-applied physical training (PAPT) program for students of food technology colleges. A detailed professiographic analysis of the work of chefs, pastry chefs, and technologists was carried out, and the leading occupational hazards (orthostatic loads, thermal stress, monotony) were identified. Differentiated exercise complexes and types of sports (pilates, stretching, table tennis) are proposed, taking into account the gender characteristics of the student body. The organizational forms of integrating PAPT into the educational process and a system for complex three-vector monitoring of the psychophysiological readiness of graduates have been determined.

Keywords: professional-applied physical training, food technology college, occupational hazards, orthostatic load, industrial gymnastics, gender approach, monitoring.

Актуальність теми. Трансформаційні процеси, що відбуваються в національній системі фахової передвищої освіти України, орієнтовані на інтеграцію в європейський освітній простір та підвищення конкурентоспроможності випускників на сучасному ринку праці. У цьому контексті харчова індустрія та сфера ресторанного господарства висувають принципово нові, підвищені вимоги до фахівців. Сучасний етап розвитку харчових виробництв характеризується стрімкою інтенсифікацією технологічних процесів, широким впровадженням автоматизованих ліній, інноваційного устаткування та жорстким дотриманням міжнародних стандартів якості (зокрема, систем НАССР). Такі зміни потребують від випускників коледжів харчових технологій не лише високого рівня теоретичних знань та філігранних практичних навичок, але й належного психофізіологічного статусу, міцного здоров’я, високої адаптаційної здатності та тривалої працездатності.

Проте, як показує практика та численні моніторингові дослідження, існує суттєве протиріччя між вимогами реального виробництва до психофізіологічних якостей фахівців і фактичним станом здоров'я та фізичної підготовленості випускників. Праця технологів, кухарів, кондитерів, майстрів ресторанного обслуговування та інженерів пов'язана з комплексом специфічних виробничих чинників, які несприятливо впливають на організм. До них належать: тривалі статичні навантаження, вимушена робоча поза (тривале перебування в положенні стоячи), монотонність локальних рухів дрібних м'язових груп, робота в умовах контрастних температур та підвищеної вологості (гарячі цехи), а також високе емоційне напруження в умовах дефіциту часу.

У перші роки професійної діяльності молоді спеціалісти часто стикаються з проблемою швидкої фізичної та психічної перевтоми. Це призводить до зниження продуктивності праці, виникнення технологічного браку та, що найнебезпечніше, до раннього розвитку професійних захворювань, таких як варикозне розширення вен,плоскостопість,хронічні радикуліти. остеохондроз

Традиційна система фізичного виховання в закладах фахової передвищої освіти, яка зорієнтована переважно на загальнофізичну підготовку (ЗФП) та виконання усереднених контрольних нормативів, уже не здатна повною мірою вирішити завдання адаптації студентів до майбутньої професії. Наявна модель ігнорує анатомо-фізіологічні та психологічні особливості конкретної трудової діяльності. Саме тому виникає науково-практична потреба впровадження в освітній процес коледжів харчових технологій цілеспрямованої системи професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП). Вона має виступати не просто як засіб оздоровлення, а як дієвий механізм формування професійної надійності та довголіття майбутнього фахівця.

Стан розробки проблеми. Питання теорії і методики ППФП студентської молоді висвітлені у працях багатьох вітчизняних та закордонних науковців (Л. П. Пилипей, С. М. Канішевський, Р. Т. Раєвський та ін.)[5.6.].. Проте, попри наявність ґрунтовних досліджень загальних засад прикладного фізичного виховання, специфіка підготовки кадрів саме для харчової індустрії та

ресторанної індустрії в умовах сучасних коледжів залишається вивченою недостатньо. Більшість наявних програм не враховують стрімку цифровізацію та автоматизацію харчових підприємств, а також зміну гендерного балансу серед студентів цих спеціальностей, що вимагає гнучкого дозування фізичних навантажень.

Мета статті полягає у теоретико-методичному обґрунтуванні, розробці та деталізації цілісного плану-програми професійно-прикладної фізичної підготовки студентів коледжу харчових технологій.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання статті**:

1. Здійснити детальний аналіз умов, характеру та психофізіологічної структури праці фахівців харчового профілю з метою виявлення провідних виробничих шкідливостей.

2. Визначити та систематизувати комплекс професійно важливих фізичних, психічних і психофізіологічних якостей, що забезпечують високу працездатність майбутнього випускника.

3. Розробити структурно-змістову модель та методичне наповнення програми ППФП для впровадження в освітній простір коледжу харчових технологій.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань було використано комплекс теоретичних методів: аналіз, узагальнення та систематизація науково-методичної, педагогічної, медико-біологічної та ергономічної літератури;

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів полягає у конкретизації засобів та методів фізичного виховання з урахуванням специфіки праці сучасного кухаря, кондитера й технолога; розробці адаптованих критеріїв оцінки фізичної готовності студентів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для побудови науково обґрунтованої системи професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) першочерговим завданням є проведення детального професіографічного аналізу трудової діяльності майбутніх випускників. Професіограма фахівця харчової галузі — це комплексний опис соціально-економічних, виробничо-технічних, санітарно-гігієнічних та психофізіологічних характеристик праці. Оскільки коледж харчових технологій готує спеціалістів широкого спектра (технологів, кухарів, кондитерів, майстрів ресторанного сервісу та техніків-механіків), структура їхньої праці має свою специфіку, проте характеризується низкою спільних екстремальних чинників виробничого середовища. Близько 85–90% робочого часу фахівець перебуває у статичній позі стоячи, яка часто поєднується з постійними нахилами тулуба вперед (під кутом 15–30 градусів) до обробних столів, плити чи технологічного обладнання.

Динамічні навантаження пов'язані з підйомом та переміщенням вантажів (наплитні котли, дежі, мішки з сировиною, ящики з напівфабрикатами). Вага таких вантажів часто коливається в межах від 10 до 25 кг, що за умов

неправильної техніки підйому створює критичні компресійні навантаження на міжхребцеві диски попереково-крижового відділу хребта.

Водночас, виконання основних технологічних операцій (нарізання, формування, порціонування, художнє декорування кондитерських виробів) потребує виконання великої кількості (до декількох тисяч за зміну) дрібних, висококоординованих рухів кистями та пальцями рук.

Специфічною особливістю роботи в закладах харчування є функціонування в умовах несприятливого мікроклімату гарячих цехів. Температура повітря робочої зони біля теплового обладнання (плити, жарові шафи, пароконвектомати) у літній період може досягати +30 °С ... +38 °С за відносної вологості повітря до 70–80%.[1.[. Таке поєднання активізує процеси терморегуляції, викликаючи значне потовиділення (втрата рідини може становити від 1,5 до 3 літрів за зміну) та вимивання з організму важливих мінеральних солей (калію, магнію, натрію).

Окрім термічного чинника, на організм працівника впливають:

- Контрастні температури: Постійні переходи з гарячого цеху до холодильних чи морозильних камер для отримання сировини (перепад температур може становити до 40 °С).
- Шум та вібрація: Робота потужних витяжних систем, кухонних комбайнів, тістомісів та холодильних агрегатів створює постійний фоновий шум низької та середньої частоти.
- Хімічні подразники: Постійний контакт із мийними та дезінфікуючими засобами, задимленість або випари жирів (акролеїну) при жарових операціях, що навантажує дихальну систему.

Особливим стресогенним фактором у ресторанному бізнесі є жорсткий ліміт часу коли щільність замовлень перевищує стандартну пропускну здатність технологічної лінії. Це вимагає від спеціаліста:

- високого рівня концентрації та оперативності мислення;
- здатності до швидкого розподілу та переключення уваги;

Монотонність праці є ще однією психологічною проблемою, характерною для великих харчових підприємств (конвеєрні лінії фасування, масове однотипне формування напівфабрикатів). Тривале виконання одноманітних операцій призводить до розвитку стану монотонії, що супроводжується зниженням пильності, уповільненням реакцій.

Поєднання вищезазначених чинників без належної компенсації засобами фізичної культури неминуче призводить до розвитку низки професійно зумовлених захворювань:

1. Судинні патології нижніх кінцівок (Варикозне розширення вен): .
2. Патології опорно-рухового апарату:
3. Синдром затиснення (Тунельні синдроми): Постійні монотонні рухи кистю (наприклад, при інтенсивному нарізанні ножем) .

4. Порушення діяльності шлунково-кишкового тракту та обміну речовин: Специфічний чинник праці кухарів — постійна необхідність (дегустації) страв протягом дня. Це призводить до гастритів.

5. Таким чином, психофізіологічний аналіз праці фахівців харчового профілю свідчить про наявність високих та специфічних вимог до організму. Ефективна професійна діяльність і збереження здоров'я можливі лише за умови цілеспрямованого розвитку до термічних стресів, формування високої загальної витривалості, координації рухів та опанування методів рухової компенсації , що і є головним завданням курсу ППФП у коледжі.

Мета завдання та принципи. Теоретико-методологічне обґрунтування системи професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) у закладах фахової передвищої освіти харчового профілю вимагає чіткого визначення її орієнтирів, сукупності педагогічних завдань та принципів. У такій моделі фізична культура виступає дієвим інструментом формування професійної надійності, високої працездатності та соматичного здоров'я майбутнього фахівця харчової індустрії.[3][6].

Головна мета ППФП у коледжі харчових технологій полягає у формуванні стійкої професійно-прикладної фізичної та психофізіологічної готовності студентів до майбутньої трудової діяльності.

Для реалізації поставленої мети в процесі фізичного виховання студентів харчових спеціальностей вирішується комплекс взаємопов'язаних завдань, які логічно поділяються на чотири блоки: освітні, розвивальні, виховні та профілактично-компенсаторні.

Освітні завдання:

- Формування системи спеціальних знань: Засвоєння теоретико-методичних основ ергономіки, біомеханіки робочих рухів, виробничої санітарії та гігієни праці.
- Опанування прикладних умінь та навичок: Навчання технічно правильного виконання рухових дій, пов'язаних із підйомом, утриманням та переміщенням важких предметів (деж, каструль, мішків із сировиною) без шкоди для хребта;
- Розвивальні завдання:
- Спрямований розвиток професійно важливих фізичних якостей: Підвищення показників загальної витривалості як фундаменту загальної працездатності; виховання специфічної статичної витривалості.
- Вдосконалення психофізіологічних функцій: Розвиток координації рухів, , рухливої та дрібної моторики пальців рук , точного окоміру на динамічні подразники технологічного процесу.

Виховні завдання:

- Формування психоемоційної стійкості: Виховання вольових якостей, толерантності до тривалих монотонних навантажень, здатності зберігати високу концентрацію та оперативність розподілу уваги.

• Мотиваційно-ціннісне ставлення до здоров'я: Формування у студентів усвідомленої потреби у щоденній руховій активності та веденні здорового способу життя як невід'ємного елемента професійного успіху.

Профілактично-компенсаторні завдання:

• Нівелювання шкідливих виробнічих впливів: Застосування специфічних засобів фізичного виховання для запобігання розвитку варикозного розширення вен, порушень постави та остеохондрозу.

• Ефективність функціонування системи ППФП у коледжі харчових технологій забезпечується неухильним дотриманням загальнопедагогічних та специфічних прикладних принципів.

1. Принцип професійної спрямованості (Органічного зв'язку з професійною підготовкою): Цей принцип є засадничим для ППФП. Він вимагає, щоб зміст, форми та методи фізичного виховання підпорядковувалися логіці професійного становлення фахівця.

2. Принцип випереджального характеру прикладного виховання: Фізичні, психофізіологічні та психічні якості студентів мають розвиватися з певним випередженням щодо вимог реального виробництва.

3. Принцип оздоровчо-профілактичної спрямованості: Будь-які прикладні навантаження не повинні призводити до перевтоми чи форсування функцій організму.

4. Принцип індивідуалізації, та гендерного підходу: У коледжах харчових технологій традиційно спостерігається значний відсоток студенток-дівчат (особливо на технологічних та кондитерських спеціальностях). Програма ППФП має гнучко адаптуватися під статево-вікові особливості, та специфіку конкретної вузької спеціалізації в межах коледжу (наприклад, кухар, кондитер, бармен чи інженер-механік).

Таким чином, методологічно обґрунтована тріада «мета – завдання – принципи» створює надійну теоретичну базу для проектування практичного змісту ППФП у коледжі харчових технологій.

3. Практична реалізація системи професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) у коледжі вимагає науково обґрунтованого добору засобів і методів, які б враховували специфіку контингенту здобувачів освіти. Особливістю є суттєва гендерна асиметрія: на спеціальностях «Харчові технології», та «Ресторанне обслуговування» традиційно переважають дівчата (до 70–80% ліцензійного обсягу), тоді як на спеціальностях, пов'язаних з обслуговуванням та монтажем чи технологічного обладнання, навчаються переважно юнаки.

Для забезпечення всебічного та водночас прикладного розвитку психофізіологічних функцій студентів у програму фізичного виховання інтегруються елементи різних видів спорту, адаптовані до гендерного розподілу груп.[2].

Засоби для груп із переважно жіночим контингентом (кухарі-кондитери, Це **технологи):**

• Стретчинг: Обов'язковий компонент кожного заняття. Направлений на розтягування великих м'язових груп

• Пілатес та шейпінг: Фокусуються на зміцненні глибоких м'язів-стабілізаторів (кору), м'язів тазового дна та черевного преса.

• Настільний теніс та бадмінтон: Використовуються як висококласні засоби розвитку дрібної моторики, швидкості реакції та координації рухів «око-рука». Крім того, динамічне фокусування погляду на м'ячі чи волані є чудовою профілактикою зорової втоми від монотонної праці.

Засоби для груп із переважно чоловічим контингентом (інженери, механіки, бармени):

• Атлетична гімнастика та кросфіт (з помірною вагою): Спрямовані на розвиток загальної та вибухової сили м'язів плечового поясу, спини та ніг, що необхідно для безпечного підйому і перенесення технологічного устаткування, сировини (мішків, ящиків).

• Спортивні ігри (волейбол, баскетбол): Розвивають загальну витривалість, просторове орієнтування, здатність приймати швидкі рішення в умовах дефіциту часу та високе командне згуртування.

Нижче наведено конкретні методичні комплекси вправ, розроблені з урахуванням специфіки праці та гендерних особливостей студентів коледжу.

Комплекс № 1. Профілактика варикозу та венозного застою (орієнтований на дівчат)

Комплекс виконується у партері (лежачи на килимках), що дозволяє повністю розвантажити судини нижніх кінцівок від гідростатичного тиску.

1. «Почергове потягування»: Лежачи на спині, руки вздовж тіла. Потягнути носок правої ноги на себе, одночасно п'яту виштовхуючи вперед. Те саме лівою ногою. Повторити по 12–15 разів для кожної ноги.

2. «Обертання стопами»: Лежачи на спині, ноги підняті вгору під кутом 45–60 градусів. Виконувати повільні колові обертання стопами всередину, а потім назовні. По 20 разів у кожен бік. Оптимізує роботу гомілковостопного суглоба та активізує венозний відтік.

3. Модифікований «Велосипед»: Лежачи на спині, поперек щільно притиснутий до підлоги, руки під сідницями. Імітація крутіння педалей велосипеда піднятими ногами. Виконувати протягом 1–2 хвилин у середньому темпі.

Комплекс № 2. Зміцнення м'язового корсета та стабілізація хребта (універсальний, з дозуванням для дівчат)

Комплекс спрямований на створення міцного "мишечного каркаса", який захищає хребет від протрузій та остеохондрозу при постійних нахилах до обробного столу.

1. «Кішка-Корова» (Marjariasana): Стоячи на чотирьох (упорі на коліна та кисті). На вдиху — плавно прогнути спину попереку вниз, голову підняти вгору. На видиху — максимально округлити спину, підборіддя притиснути до грудей. Повторити 10–12 разів.

2. «Планка на передпліччях з акцентом на кор»: Упор лежачи на передпліччях та носках. Тіло утворює пряму лінію, живіт підтягнутий, сідниці

напружені, поперек не прогинається. Для дівчат тривалість утримання становить 30–45 секунд, для юнаків — 60–90 секунд (3 підходи).

Таким чином, практичний зміст ППФП у коледжі харчових технологій є гнучкою системою, що враховує гендерні пропорції студентських груп. Спрямоване використання фітнес-технологій (пілатесу, стретчингу) у поєднанні з рекреаційними видами спорту (настільний теніс, плавання) та чітко дозованими силовими комплексами дозволяє сформувати у майбутніх спеціалістів надійний фундамент для ефективної професійної діяльності.

4.Ефективність системи професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) студентів у коледжі харчових технологій безпосередньо залежить від чіткої логістики її інтеграції в освітнє середовище.

Для реалізації цього завдання розроблено та структуровано чотири взаємопов'язані організаційно-методичні форми.

Розподіл навчального матеріалу за роками навчання в коледжі має чітку поетапну специфіку:

- Перший курс (Етап базової адаптації): Пріоритет віддається загальнофізичній підготовці (ЗФП), ліквідації дефіциту рухової активності після школи та вирівнюванню функціонального стану студентів. Обсяг ППФП у практичних заняттях становить не більше 15–20% часу (переважно базові координаційні вправи).
- Другий та третій курси (Етап інтенсивної спеціалізації): З початком вивчення фахових дисциплін та перших навчальних практик структура занять з фізкультури кардинально змінюється. Питома вага засобів ППФП зростає до 45–50% від загального часу.

Основною методичною формою проведення практичної частини є метод колового тренування (професійно-прикладний наголос). Навчальна група ділиться на підгрупи, які послідовно проходять спеціалізовані «станції»:

1. Станція «Кор»: виконання планок та сідничних містків для стабілізації хребта.

2. Станція «Моторика»: серії швидких пасів та жонглювання м'ячами для настільного тенісу (розвиток дрібної моторики пальців та окоміру).

Ця форма є інноваційним та найбільш праксеологічним компонентом програми. Вона передбачає впровадження малих форм виробничої гімнастики безпосередньо в процес багатогодинних практичних і лабораторних занять. Організаційні форми включають:

- Спеціалізовані секції: Робота секцій з видів спорту, що мають прямий прикладний ефект для харчовиків (настільний теніс, бадмінтон, плавання, пілатес, черлідинг, атлетичний фітнес).
- Спортивно-професійне свято «Професійні старти»: Яскравий масовий захід, що проводиться раз на рік. Програма змагань складається з воєнізовано-прикладних естафет, адаптованих до професії.

Приклади конкурсних завдань «Професійних стартів»:

- Естафета «Динамічний баланс»: пересування змійкою між фішками, утримуючи на одній руці піднос із м'ячами (тренування статичної сили рук, координації та стійкості гомілковостопного суглоба).

Запропонований комплекс організаційно-методичних форм дозволяє перетворити ППФП на наскрізну, безперервну та життєздатну систему. Інтеграція прикладного фізичного виховання в розклад, структуру лабораторних занять та період виробничої практики забезпечує формування стійкого динамічного стереотипу здорової та безпечної праці у майбутніх лідерів харчової індустрії.

5.Створення та впровадження інноваційної програми професійно-прикладної фізичної підготовки (ППФП) в освітній простір коледжу харчових технологій потребує розробки надійного науково-методичного інструментарію для верифікації її результативності. Об’єктивна оцінка ефективності запропонованої системи не може обмежуватися лише стандартним вимірюванням локомоторних досягнень студентів (біг, підтягування, стрибки). Вона повинна базуватися на комплексному, системному моніторингу трьох взаємопов'язаних векторів: соматичного здоров'я та антропометричних показників, психофізіологічного статусу (когнітивна сфера) та безпосередньо рівня розвитку професійно важливих фізичних якостей.

Моніторинг здійснюється тричі за період навчання: констатувальний (на початку другого курсу, перед початком активного впровадження спеціалізованих блоків ППФП), проміжний (після завершення першої навчально-виробничої практики) та підсумковий (на випускному курсі).Об’єктивна оцінка ефективності запропонованої системи не може обмежуватися лише стандартним вимірюванням локомоторних досягнень студентів, а має базуватися на комплексному, системному моніторингу трьох взаємопов'язаних узагальнених векторів, методологію якого обґрунтовано у працях О. С. Куца [4]..

Підсумкові висновки статті.

1. Проведений системний аналіз умов праці фахівців харчового профілю підтвердив, що сучасне виробництво висуває екстремальні вимоги до психофізіологічної сфери та соматичного здоров'я молодих спеціалістів. Провідними професійними шкідливостями є тривале ортостатичне навантаження (робоча поза стоячи), термічний стрес гарячих цехів, висока щільність дрібних координаційних рухів кисті та значне психоемоційне напруження.

2. Доведено, що традиційна система загальнофізичної підготовки у закладах фахової передвищої освіти не здатна повністю компенсувати негативні впливи майбутньої професії.

3. Практичний зміст розробленої програми ППФП, адаптований під високий відсоток жіночого контингенту в коледжах харчових технологій за рахунок залучення фітнес-технологій (пілатесу, стретчингу), плавання та настільного тенісу, забезпечує цілеспрямований розвиток статичної витривалості .

4. Визначено, що найвища ефективність ППФП досягається завдяки використанню наскрізних організаційних форм: від прикладних академічних занять методом колового тренування до обов'язкового інтегрування ергономічних мікропауз (виробничої гімнастики)

Список використаних джерел

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
2. Зайцев В. П. Гігієна праці та ергономіка у закладах ресторанного господарства : підручник. Харків : ХДУХТ, 2021. 248 с.
3. Канішевський С. М. Науково-методичні основи фізичного виховання студентів. Київ : ІЗМН, 2019. 184 с.
4. Куц О. С. Організаційно-методичні основи моніторингу фізичного стану студентської молоді. Львів : ЛДІФК, 2020. 212 с.
5. Пилипей Л. П. Професійно-прикладна фізична підготовка студентів : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2018. 314 с.
6. Раєвський Р. Т., Канішевський С. М. Фізичне виховання і здоров'я студентської молоді : монографія. Одеса : Наука і техніка, 2022. 260 с.

САМОКОНТРОЛЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРЕНУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ЛЕГКОАТЛЕТІВ

Полтко Владислава
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Бовсуновська Наталія
к.б.н., доцент
Кафедра медико-біологічних дисциплін,
здоров’я людини та адаптивного спорту
Житомирський державний університет ім. Івана Франка, Україна

Анотація. У статті розглянуто самоконтроль як складову системи контролю за підготовкою легкоатлетів і як засіб оптимізації тренувального процесу. На основі аналізу фундаментальних праць з теорії спортивного тренування та сучасної науково-методичної літератури уточнено сутність самоконтролю, систематизовано суб’єктивні та об’єктивні показники, які доцільно використовувати в щоденній практиці, розглянуто підхід до кількісної оцінки тренувального навантаження за суб’єктивним сприйняттям зусиль (метод session-RPE). Запропоновано алгоритм використання даних самоконтролю для корекції навантажень з урахуванням специфіки легкоатлетичних тренувань. Показано, що самоконтроль не замінює педагогічного, медичного й

біомеханічного контролю, але дає змогу своєчасно помітити ознаки недовідновлення та знизити ризик перетренованості й травм.

Ключові слова: самоконтроль, легкоатлети, тренувальний процес, оптимізація, тренувальне навантаження, session-RPE, відновлення, щоденник самоконтролю.

ВСТУП

Результат у легкій атлетиці значною мірою залежить від того, наскільки точно тренер і спортсмен добирають співвідношення навантаження та відпочинку. Сучасні плани підготовки передбачають великі обсяги роботи й високу інтенсивність, тому функціональні резерви організму використовуються майже повністю [2; 3]. Помилка в дозуванні навантаження, яку не було вчасно помічено, може призвести до стійкого стомлення, зниження спортивних результатів, виснаження або травм [2; 8].

Традиційно основну роль у контролі відводять тренерові та спортивному лікарю. Вони проводять педагогічні спостереження, тестування та медичні обстеження. Однак такий контроль має переважно епізодичний характер, тести виконуються раз на кілька тижнів, а лікар бачить спортсмена ще рідше [1; 2]. Значна частина змін у функціональному стані організму залишається поза увагою, доки не позначиться на результаті. У цій ситуації особливого значення набуває самоконтроль – щоденні самостійні спостереження спортсмена за реакцією власного організму [2].

Проблематику контролю, адаптації та періодизації навантажень у сучасній системі підготовки ґрунтовно висвітлено в фундаментальному підручнику В.М. Платонова [2]. Водночас зарубіжні науковці, зокрема A. E. Saw зі співавторами, у своїх дослідженнях довели, що суб’єктивні показники, які повідомляє сам спортсмен, реагують на зміни навантаження не менш, а часто й більш чутливо та послідовно, ніж більшість об’єктивних лабораторних вимірів [7]. M. Kellmann разом із колегами наголошує на необхідності постійного моніторингу балансу між тренувальним стресом і відновленням [6]. J. Weakley, S. L. Halson та I. Mujika підкреслюють, що діагностика синдрому перетренованості й досі залишається складним завданням, тому ключовий акцент має робитися на ранній профілактиці [8].

Разом з тим, у науково-методичній літературі все ще бракує узагальнених практичних рекомендацій щодо того, які саме показники самоконтролю найдоцільніше використовувати легкоатлетам і як на основі цих даних оперативно коригувати програму тренувань.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати роль самоконтролю спортсменів у системі контролю та оптимізації тренувального процесу легкоатлетів і визначити напрями його практичного застосування.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

1. Детально проаналізувати та наукового обґрунтувати сутність поняття самоконтролю та його місце в системі контролю за підготовкою легкоатлетів.

2. Систематизувати суб’єктивні й об’єктивні показники самоконтролю.

3. Розглянути підходи до оцінки тренувального навантаження за даними самоконтролю.

4. Запропонувати алгоритм використання результатів самоконтролю для корекції тренувального процесу.

Методи дослідження: аналіз і узагальнення науково-методичної літератури, порівняння, систематизація, теоретичне моделювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У теорії спортивної підготовки традиційно виділяють етапний, поточний та оперативний контроль [2; 3]. Етапний контроль підбиває підсумки великих циклів підготовки, поточний стосується мікро- і мезоциклів, оперативний – окремих тренувальних занять. Самоконтроль вирізняється тим, що суб'єктом спостереження є сам спортсмен, а записи ведуться щодня. Тому він працює одразу на всіх трьох рівнях, але найбільшу практичну користь дає саме для оперативного та поточного реагування [1; 2].

У спортивній науці самоконтроль визначають як систему регулярних самостійних спостережень спортсмена за станом свого здоров'я, фізичним розвитком, суб'єктивними відчуттями та динамікою виконання тренувальних навантажень [2]. Його поділяють на суб'єктивний (оцінка самопочуття, сну, апетиту, бажання тренуватися та інш.) та об'єктивний (вимірювання частоти серцевих скорочень (ЧСС) у спокої, маси тіла, результати функціональних проб та інш.).

Як зазначає В. М. Платонов, самоконтроль виконує не лише інформаційну, а й важливу виховну та саморегуляційну функцію [2]. Спортсмен, який щодня аналізує свій стан, вчиться глибше розуміти фізіологічну «ціну» навантаження, вчасно помічає ознаки недовідновлення та усвідомлено ставиться до процесів відпочинку. Крім того, щоденник самоконтролю стає об'єктивною підставою для конструктивного діалогу між тренером і спортсменом [7].

Як зазначалося вище, до суб'єктивних показників самоконтролю належать самопочуття, сон, апетит, настрій, бажання тренуватися, відчуття втоми та м'язового болю (DOMS). Дослідження A. E. Saw та колег доводять, що саме суб'єктивні самозвіти спортсменів реагують на коливання тренувального навантаження найбільш оперативно та чутливо [7].

До об'єктивних показників, які спортсмен може виміряти самостійно без складного обладнання, належать ЧСС уранці в стані спокою, ортостатична проба, маса тіла, швидкість відновлення пульсу після стандартного навантаження, а також функціональні дихальні проби (Штанге, Генчі) [1; 2]. Перелік основних показників, які найбільш часто описуються в літературних джерелах та використовуються на практиці, представлено в табл. 1.

Таблиця 1 Основні показники самоконтролю легкоатлета

Показник	**Спосіб визначення**	**На що може вказувати відхилення**
Самопочуття, настрій, бажання тренуватися	Щоденна оцінка за 5- або 10-бальною шкалою	Тривале зниження балів – накопичене стомлення, емоційне виснаження
Сон	Тривалість, легкість засинання, відчуття відпочинку після сну	Порушення сну – недостатнє відновлення після навантажень
М'язовий біль, відчуття «важкості» ніг	Оцінка за шкалою, позначення локалізації	Біль, що не минає кілька днів, – недовідновлення, ризик травми
Апетит і маса тіла	Ранкове зважування натщесерце	Зниження маси й апетиту – надмірне навантаження або недостатнє харчування
ЧСС у спокої	Вранці після пробудження, лежачи, впродовж 1 хв	Стійке підвищення порівняно з індивідуальною нормою
Ортостатична проба	Різниця ЧСС у положенні лежачи та після переходу в положення стоячи	Збільшення приросту ЧСС – недовідновлення, знижена стійкість регуляції
ЧСС відновлення	Пульс через 1–3 хв після стандартного навантаження	Повільне повернення до вихідного рівня – зниження функціонального стану
Проби із затримкою дихання (Штанге, Генчі)	Час затримки дихання на вдиху та видиху	Скорочення часу – зниження функціональних резервів

Як підкреслюється в ряді науково-методичних робіт, присвячених теорії спортивного тренування, жоден показник не слід оцінювати ізольовано [2]. Наприклад, ранкова тахікардія може бути наслідком недосипання чи стресу, а не лише тренувальної втоми. Інтерпретувати дані необхідно в динаміці, порівнюючи їх з індивідуальним базовим рівнем спортсмена. Орієнтиром вважають стійке підвищення ЧСС у спокої на 5–8 уд/хв відносно норми впродовж кількох днів поспіль [2].

Для оптимізації підготовки важливо аналізувати не лише зовнішнє навантаження (кілометри, тонни, кількість повторень та інш.), а й внутрішнє – фізіологічний відгук організму [2; 8]. Популярним та науково обґрунтованим методом оцінки внутрішнього навантаження є метод session-RPE (шкала сприйманого зусилля) [4; 5]. У межах цього підходу спортсмен через 20–30 хвилин після закінчення тренування відповідає на запитання: «Як пройшло ваше тренування?», оцінюючи загальну важкість заняття за 10-бальною шкалою CR-10 C. Foster [4]. Отриманий бал множиться на тривалість заняття у хвилинах, що дає змогу кількісно виразити загальний обсяг виконаного навантаження в умовних одиницях:

Session Load (AU) = RPE x Тривалість (хв) [8].

Застосування цього методу дає змогу легко підсумовувати та порівнювати різнопланову роботу легкоатлета (біг, стрибки, силову підготовку), а також вираховувати показники монотонності й напруження навантаження [4; 5].

Систематичний розрахунок внутрішнього навантаження за методом session-RPE у поєднанні з щоденними суб'єктивними оцінками має вирішальне значення для управління процесами втоми та відновлення. Згідно з концепцією В. М. Платонова, тренувальний процес є безперервним ланцюгом утворення втоми та наступного відновлення, що забезпечує суперкомпенсацію [2]. Якщо ж відновлення є систематично недостатнім, у спортсмена виникає хронічне недовідновлення.

Як зазначають J. Weakley та співавтори, чітких біохімічних чи інструментальних маркерів початкової стадії перетренованості на сьогодні не існує [8]. Саме тому систематичний суб'єктивний та об'єктивний самоконтроль залишається єдиним доступним і високоефективним інструментом її ранньої діагностики та профілактики.

Водночас характер прояву втоми та чутливість окремих показників самоконтролю суттєво відрізняються залежно від спеціалізації легкоатлета [1; 2]:

- спринтери та стрибуни мають звертати першочергову увагу на стан ЦНС та нервово-м'язового апарату (швидкість реакції, відчуття «легкості» в м'язах, локальний біль у сухожиллях і м'язах стегна);
- бігуни на середні та довгі дистанції – на показники ЧСС у спокої, ортостатичну пробу, динаміку маси тіла, якість сну та апетит, оскільки великі аеробні обсяги виснажують вегетативну регуляцію й енергетичні ресурси;
- метальники – на відчуття в суглобах, хребті та динаміку показників вибухової сили.

Для систематизації зібраних даних та оперативної корекції тренувального процесу на основі аналізу джерел [2; 3; 4; 5; 6; 7] пропонується такий алгоритм:

1. Визначення базового рівня (2–3 тижні) – фіксація індивідуальної норми ЧСС, маси тіла та самопочуття при стандартному режимі підготовки.
2. Щоденна фіксація – виконання ранкових вимірів (пульс, маса, сон) та післятренувальна оцінка (RPE, тривалість, скарги).
3. Щотижневий аналіз – спільне обговорення тренером і спортсменом динаміки тижневого навантаження та функціонального стану.
4. Оперативна корекція за принципом «світлофора»:
   - зелена зона (показники в межах норми) – виконання тренувального плану без змін;
   - жовта зона (відхилення одного-двох показників протягом 2–3 днів) – коригування інтенсивності чи обсягу, додавання засобів відновлення;
   - червона зона (стійкі відхилення за кількома показниками понад 3–4 дні) – значне зниження навантаження, надання дня відпочинку, консультація з спортивним лікарем.

ВИСНОВКИ

1. Узагальнено та теоретично обґрунтовано сутність і місце самоконтролю у загальній системі контролю за підготовкою легкоатлетів. Встановлено, що

самоконтроль не замінює педагогічного, медичного чи біомеханічного контролю, проте виступає їхнім необхідним оперативним доповненням, оскільки забезпечує щоденний безперервний моніторинг адаптаційних реакцій організму спортсмена.

2. Систематизовано основні суб'єктивні (сон, самопочуття, апетит, м'язовий біль) та об'єктивні (ЧСС у спокої, ортостатична проба, динаміка маси тіла, дихальні проби) показники самоконтролю. Доведено, що оцінку функціонального стану слід проводити комплексно та в динаміці, порівнюючи отримані дані з індивідуальним базовим рівнем спортсмена, а не на основі ізольованих вимірів.

3. Проаналізовано підходи до оцінки внутрішнього тренувального навантаження за методом session-RPE (C. Foster). Обґрунтовано, що інтеграція суб'єктивної оцінки важкості заняття за шкалою CR-10 та його тривалості дозволяє уніфіковано розраховувати й порівнювати внутрішню «ціну» різнопланових легкоатлетичних навантажень (бігових, стрибкових, силових), а також оцінювати рівень їх монотонності й напруження.

4. Розроблено практичний алгоритм використання результатів самоконтролю для оперативного управління тренувальним процесом. Запропоновано диференційований підхід до вибору пріоритетних показників самоконтролю залежно від спеціалізації легкоатлетів (спринт/ стрибки, витривалість, метання) та впроваджено систему прийняття рішень за принципом «світлофора» (зелена, жовта та червона зони), що сприяє своєчасній корекції навантажень, оптимізації відновлення та ефективній профілактиці синдрому перетренованості й травматизму.

Список використаних джерел

1. Павленко І. О., Сидоренко О. Р., Скачедуб Н. М., Бережна Л. І. Легка атлетика у фізичному вихованні педагогічних закладів вищої освіти : навч.-метод. посіб. Суми : ФОП Цьома С. П., 2020. 200 с.
2. Платонов В. М. Сучасна система спортивного тренування : підручник. Київ : Перша друкарня, 2021. 672 с.
3. Bompa T. O., Buzzichelli C. Periodization: Theory and Methodology of Training. 6th ed. Champaign, IL : Human Kinetics, 2019. 392 p.
4. Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. Medicine & Science in Sports & Exercise, 30(7), 1164–1168.
5. Haddad M., Stylianides G., Djaoui L., Dellal A., Chamari K. Session-RPE method for training load monitoring: validity, ecological usefulness, and influencing factors. Frontiers in Neuroscience. 2017. Vol. 11. Article 612. DOI: 10.3389/fnins.2017.00612
6. Kellmann M., Bertollo M., Bosquet L., Brink M., Coutts A. J., Duffield R., Erlacher D., Halson S. L., Hecksteden A., Heidari J., Kallus K. W., Meeusen R., Mujika I., Robazza C., Skorski S., Venter R., Beckmann J. Recovery and performance in sport: consensus statement. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2018. Vol. 13, No. 2. P. 240–245. DOI: 10.1123/ijspp.2017-0759

7. Saw A. E., Kellmann M., Main L. C., Gastin P. B. Athlete self-report measures in research and practice: considerations for the discerning reader and fastidious practitioner. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2017. Vol. 12, Suppl. 2. P. S127–S135. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0395
8. Weakley J., Halson S. L., Mujika I. Overtraining syndrome symptoms and diagnosis in athletes: where is the research? A systematic review. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2022. Vol. 17, No. 5. P. 675–681. DOI: 10.1123/ijspp.2021-0448

Section: Psychology

ПСИХОЛОГІЧНИЙ СУПРОВІД ДІТЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ В УМОВАХ ІНКЛЮЗИВНОГО НАВЧАННЯ

Жовтобрух Марія
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Кафедра психології та соціальної роботи
Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. У статті розглядаються особливості психологічного супроводу дітей з особливими освітніми потребами в умовах інклюзивного освітнього середовища. Розкрито основні напрями психологічної роботи, спрямованої на забезпечення емоційного благополуччя, соціальної адаптації та повноцінного психічного розвитку дитини. Визначено значення індивідуального підходу, психологічної діагностики, корекційно-розвиткової роботи та взаємодії психолога з педагогами й батьками. Обґрунтовано необхідність комплексного супроводу дітей з особливими освітніми потребами з урахуванням їхніх індивідуальних можливостей, потреб та актуального рівня розвитку.

Ключові слова: особливі освітні потреби, психологічний супровід, інклюзивна освіта, психологічна допомога, психічний розвиток, соціальна адаптація, дитина.

Введення. Сучасна система освіти орієнтована на забезпечення рівного доступу до навчання та створення умов для повноцінного розвитку кожної дитини. Особливого значення в цьому контексті набуває організація психологічного супроводу дітей з особливими освітніми потребами, які можуть потребувати додаткової підтримки у процесі навчання, спілкування та соціальної адаптації.

Діти з особливими освітніми потребами можуть мати індивідуальні особливості когнітивного, емоційного, соціального та особистісного розвитку. Тому застосування єдиного підходу до організації освітнього процесу не завжди дозволяє повною мірою врахувати їхні потреби. Важливим завданням психолога є визначення сильних сторін дитини, актуальних труднощів та умов, за яких вона може найбільш ефективно розвиватися і навчатися.

Психологічний супровід передбачає не лише проведення діагностичної роботи, а й створення сприятливих умов для емоційного благополуччя дитини, розвитку її пізнавальної та емоційно-вольової сфер, формування навичок взаємодії з однолітками та дорослими. Важливою складовою такого супроводу також є співпраця психолога з педагогами, батьками та іншими фахівцями, які беруть участь у забезпеченні освітніх потреб дитини.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування особливостей психологічного супроводу дітей з особливими освітніми потребами в умовах інклюзивного освітнього середовища.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

-розкрити сутність поняття «психологічний супровід» дітей з особливими освітніми потребами;

-визначити основні психологічні труднощі, з якими можуть стикатися діти з особливими освітніми потребами;

-охарактеризувати основні напрями діяльності практичного психолога;

-визначити значення психологічної діагностики та корекційно-розвиткової роботи;

-розглянути роль взаємодії психолога, педагогів, батьків та інших фахівців у забезпеченні комплексного супроводу дитини.

Результати дослідження і їх обговорення. Психологічний супровід дітей з особливими освітніми потребами є комплексною системою професійної діяльності, спрямованою на створення умов для їхнього психологічного благополуччя, розвитку та успішної адаптації до освітнього середовища.

Одним із ключових етапів супроводу є психологічна діагностика. Вона дає можливість визначити особливості пізнавальної діяльності, емоційної та вольової сфер, комунікації, поведінки, рівня соціальної адаптації та інших психологічних характеристик дитини. Важливо, щоб результати діагностики використовувалися не для порівняння дитини з іншими дітьми, а для визначення її актуальних потреб та напрямів подальшої підтримки.

Основні напрями психологічного супроводу дітей з особливими освітніми потребами представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні напрями психологічного супроводу дітей з особливими освітніми потребами.

Напрям роботи	**Основний зміст**	**Очікуваний результат**
Психологічна діагностика	Вивчення індивідуальних особливостей психічного розвитку дитини, її сильних сторін та актуальних труднощів	Визначення актуальних потреб дитини
Емоційна підтримка	Допомога у розпізнаванні та вираженні емоцій, зниженні емоційного напруження	Покращення емоційного саморегулювання
Корекційно-розвиткова робота	Розвиток пізнавальних процесів, комунікативних та соціальних навичок	Розвиток необхідних психологічних компетентностей
Соціальна адаптація	Формування навичок взаємодії з однолітками та дорослими	Полегшення адаптації до освітнього середовища
Консультування батьків	Надання рекомендацій щодо особливостей взаємодії та підтримки дитини	Підвищення психологічної компетентності батьків
Взаємодія з педагогами	Обговорення психологічних особливостей дитини та необхідних умов підтримки	Узгодженість дій усіх учасників освітнього процесу

Особливе значення має індивідуалізація психологічного супроводу. Однакові освітні або поведінкові труднощі можуть мати різні причини, тому психологічна допомога має будуватися з урахуванням індивідуального профілю розвитку кожної дитини.

Важливим принципом є орієнтація не лише на труднощі, а й на збережені можливості та сильні сторони дитини. Виявлення таких ресурсів дозволяє формувати більш ефективну стратегію психологічної підтримки та сприяти розвитку самостійності дитини.

Психологічний супровід також передбачає систематичну взаємодію з батьками. Саме батьки мають значний вплив на емоційний стан та соціальне функціонування дитини, тому їхня участь у процесі супроводу є важливою умовою його ефективності.

Таким чином, психологічний супровід дітей з особливими освітніми потребами має бути комплексним, системним та індивідуалізованим. Його ефективність значною мірою залежить від узгодженої роботи психолога, педагогів, батьків та інших спеціалістів, а також від регулярного оцінювання динаміки розвитку дитини.

Висновки. Проведений теоретичний аналіз показав, що психологічний супровід дітей з особливими освітніми потребами є важливою складовою інклюзивного освітнього процесу. Його основною метою є створення психологічних умов для повноцінного розвитку, навчання, соціалізації та емоційного благополуччя дитини.

Встановлено, що основними напрямами психологічного супроводу є психологічна діагностика, емоційна підтримка, корекційно-розвиткова робота, сприяння соціальній адаптації, консультування батьків та взаємодія з педагогічними працівниками.

Ефективний психологічний супровід передбачає індивідуальний підхід до кожної дитини, врахування її актуального рівня розвитку, особливих освітніх потреб, індивідуальних можливостей та сильних сторін. Важливим є не лише виявлення труднощів, а й пошук ресурсів, які можуть бути використані для подальшого розвитку дитини.

Отже, системний психологічний супровід сприяє створенню більш сприятливого освітнього середовища та забезпечує необхідну психологічну підтримку дітей з особливими освітніми потребами.

Список використаних джерел

1. КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ. ПОСТАНОВА. від 12 липня 2017 р. № 545, Київ. Про затвердження Положення про інклюзивно-ресурсний центр.
2. Лист МОН України від 10.01.2017 №1/9 – 2 «Сучасні підходи до навчально-виховного процесу дітей з особливими освітніми потребами».
3. Лист МОН України від 09.06.2016 №1/9 – 293 «Про доступність дітей з особливими освітніми потребами до загальноосвітніх навчальних закладів».

ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПІДЛІТКІВ ВІД ЦИФРОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Богач Вікторія
здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня
Науковий керівник:
Тафінцева Світлана
к.пед.н., доцент
Кафедра психології та освітології
Хмельницька гуманітарно-педагогічна академія,
Україна

Анотація. Стаття присвячена аналізу психологічних і нейробіологічних чинників, що зумовлюють підвищену вразливість підлітків до формування цифрової залежності порівняно з дорослими. Висвітлено біологічні передумови вразливості підлітків, зокрема специфіку функціонування дофамінової системи винагороди та незавершеність дозрівання префронтальної кори головного мозку. Класифіковано основні форми (ігрова, комунікативна, нав'язливий веб-серфінг) та стадії розвитку цифрової адикції (адаптація, стрімке зростання й закріплення, стабілізація).

Охарактеризовано психоемоційні, когнітивні (кліпове мислення), біологічні та соціальні наслідки залежності, серед яких: синдром втрачених можливостей, номофобія, порушення сну, деформація самооцінки, дисморфофобія та втрата навичок живого спілкування. Наголошено, що подолання цієї проблеми вимагає відмови від жорстких авторитарних заборон на користь емпатичної взаємодії в родині та відновлення реальної соціальної взаємодії підлітка.

Ключові слова: цифрова залежність, підлітковий вік, синдром втрачених можливостей, номофобія, соціалізація.

Введення. Стрімкий розвиток цифрових технологій докорінно змінив повсякденне життя сучасної людини, і підлітки є найбільш включеною у цей процес віковою групою. Цифрове середовище – це не лише інтернет, а вся сукупність онлайн-платформ, соціальних мереж, месенджерів та ігор, які разом формують окремий простір існування дитини підліткового віку. За даними досліджень, сучасні підлітки проводять у цифровому середовищі від 7 до 9 годин на добу, що суттєво перевищує час, відведений на навчання, фізичну активність і живе спілкування. Попри беззаперечну цінність цифрового середовища як джерела інформації та комунікації, воно несе в собі реальні ризики для психічного здоров'я підростаючого покоління. Найбільш небезпечним з-поміж них є формування цифрової адикції як стійкої психологічної залежності від гаджетів та онлайн-активностей, що супроводжується втратою самоконтролю, звуженням інтересів та порушенням соціальної адаптації. У підлітків ця залежність має виражену вікову специфіку: вона швидше формується, глибше впливає на становлення ідентичності та самооцінки і, що особливо тривожно,

нерідко не усвідомлюється як проблема ні самим підлітком, ні його оточенням. Це зумовлено як незавершеністю нейробіологічного дозрівання, так і психологічними особливостями підліткового віку.

Незважаючи на зростаючий науковий інтерес до проблеми, питання специфіки, механізмів формування та стадіальності цифрової залежності у підлітковому віці залишаються недостатньо систематизованими в українській психологічній науці.

Метою дослідження є здійснення теоретичного аналізу специфіки, чинників, етапів та наслідків формування цифрової залежності у підлітковому віці.

Результати дослідження та їх обговорення. Втечею від проблем у підлітковому віці часто стає цифрова залежність, і це доволі нова проблема, адже сам доступ до мережі є новим явищем, якого не знали попередні покоління підлітків [6, с.112]. На відміну від залежності від хімічних речовин, надмірне захоплення інтернетом суспільство часто вважає нормою, попри його руйнівні наслідки. Вразливість підлітків до інтернет-залежності має біологічне підґрунтя. Їхня дофамінова система винагороди вже працює на максимумі, спонукаючи до імпульсивності, але префронтальна кора (зона мозку, що відповідає за самоконтроль), формується лише до 25 років [5]. Саме тому дитина підліткового віку не просто «багато сидить в інтернеті», а біологічно схильний до повторюваних імпульсивних дій, які дають швидке задоволення.

Українські психологи пов’язують цю проблему з браком спілкування у сім’ї та розглядають її як розлад, що заважає адаптації в соціумі. Водночас ВООЗ наголошує, що головна проблема – це не час, проведений онлайн, а втрата контролю над життям [2]. Для підліткового віку це особливо небезпечно, бо контроль над життям у нього ще тільки формується.

Сучасне покоління часто сприймає інтернет не як інструмент, а як повноцінне середовище для життя. Це докорінно змінює їхню поведінку та цінності [1, с. 3]. У підлітків це проявляється як зсув пріоритетів, тобто віртуальна присутність починає важити більше за реальну участь у сім’ї, школі та дружбі. У підлітковому віці, формується свідоме ставлення людини до себе як до члена суспільства. Тому особливості соціальної орієнтації підлітка відіграють вирішальну роль у становленні його життєвих настанов. Провідною діяльністю у цьому віці стає інтимно-особистісне спілкування з однолітками, через яке дитина пізнає себе та вчиться будувати соціальні зв’язки. Дослідники підкреслюють, що відмова від віртуального світу для підлітка схожа на вилучення його з референтної групи, де він учиться будувати своє майбутнє [6, с.112].

Загалом, підлітковий вік (від 11-12 до 15-16 років) – це час активного формування цінностей та розширення кола спілкування, але цифрова залежність порушує процес. Особливість полягає в тому, що підліток не просто втрачає час, а втрачає саме той досвід живої взаємодії, який у цьому віці є провідним для розвитку. Замість реальних друзів, підліток обирає віртуальний простір. Те, що

починається як звичайне захоплення блогами чи іграми, згодом повністю витісняє реальність. Це призводить до серйозних проблем, таких як: труднощів в адаптації, емоційної замкнутості, інфантилізму та бажання втекти від буденності [3, с. 2]. Ці прояви у підлітків мають підвищену інтенсивність, бо емоційна регуляція ще нестійка, а потреба у визнанні однолітками дуже велика.

Серед ознак цифрової залежності, на першому місці є потреба постійно перебувати в мережі через синдром втрачених можливостей. Часто виникає й номофобія, що проявляється як панічна боязнь залишитися без телефона. Для підлітків синдром втрачених можливостей та номофобія проявляються сильніше, оскільки вони бояться не просто пропустити новини, а випасти з кола однолітків і втратити соціальний статус. Цифровий стрес також є серед ознак через зіткнення з хейтом, критикою чи булінгом у коментарях. Як наслідок, дитині стає важко концентруватися, утримувати увагу та доводити справи до кінця. Їй складно знайти альтернативне заняття поза екраном, а навички живого спілкування з оточенням поступово втрачаються [5].

Дослідники також виділяють три основні форми цифрової залежності в підлітковому віці. Ігрова форма, полягає у надмірному захопленні онлайн-іграми; комунікативна, виражається у пристрасті до віртуальних знайомств на шкоду реальним контактам; та нав'язливий веб-серфінг, пов'язаний із хаотичним і безцільним переходом з одного сайту на інший [4]. У підлітковому віці ці форми часто поєднуються, наприклад, гра переплітається з чатами, а веб-серфінг із постійною перевіркою реакцій на власні публікації.

Психологи зазначають, що розвиток цифрової залежності проходить три етапи [3, с. 3]. Перший етап – адаптація, який починається коли підліток лише «входить» в азарт. Тут дитина відкриває для себе нову онлайн-гру чи соцмережу і розуміє, що в мережі визнання дається легше, ніж в реальному житті. На другому етапі відбувається стрімке зростання та закріплення залежної поведінки під впливом оточення й особистісних якостей. Наприклад, підліток починає проводити в мережі весь вільний час. Якщо виникають проблеми в школі чи сварки з батьками, він не вирішує їх, а «втікає» в телефон. Віртуальний світ стає головними ліками проти стресу. Фінальний же етап характеризується стабілізацією, під час якої потяг до віртуального світу виходить на певний стійкий рівень і може залишатися незмінним протягом тривалого часу. Тобто це все стає стилем життя. Підліток не збільшує час у грі нескінченно (бо фізично треба ж спати чи їсти), але цей рівень споживання є хронічно високим. Його інтереси, коло спілкування та повсякденний графік повністю підлаштовані під інтернет. Для підлітків перехід від адаптації до закріплення відбувається швидше, ніж у дорослих, через імпульсивність і високу чутливість до винагороди. Саме тому залежність підлітка часто має прихований характер, бо зовні він соціально активний онлайн, але реальне життя поступово переходить на другий план.

У науковій літературі серед психоемоційних проявів цифрової залежності найчастіше виділяють підвищену тривожність, емоційну нестабільність,

дратівливість, зниження стресостійкості, труднощі з концентрацією, а також хронічну втому від інформаційного перевантаження. У повсякденному житті це зазвичай виявляється у формі родинних конфліктів, зниження мотивації до навчання, соціальної ізоляції в офлайн-середовищі та звуження кола інтересів [2, с. 3]. У підлітків ці стани ще й накладаються на вікову емоційну нестабільність, що ускладнює відмежування власне залежності від нормальних вікових змін.

Надмірне захоплення гаджетами руйнує когнітивні здібності. Адже постійне перебування в мережі привчає мозок до швидких і яскравих стимулів, що призводить до формування так званого кліпового мислення, за якого увага хаотично перемикається та унеможливлює глибоке сприйняття інформації. Кліпове мислення впливає на навчальну діяльність, бо заважає підлітку засвоювати складний матеріал. Іншим вагомим чинником деструктивного впливу цифрової залежності є порушення сну. Синє світло екранів гальмує вироблення мелатоніну, заважаючи мозку перейти в “нічний режим” для повноцінного відпочинку. Порушення сну в підлітковому віці додатково посилює емоційну нестабільність і знижує здатність до самоконтролю, замикаючи коло залежності. Інформаційне перенасичення, безперервний потік новин та схильність до постійного порівняння себе з іншими суттєво підвищують рівень тривоги. Це може спровокувати депресивні стани, особливо за відсутності очікуваного віртуального схвалення у вигляді лайків чи переглядів. Водночас деформується і самооцінка, оскільки особистість підлітка починає формуватися навколо вигаданого онлайн-образу, а будь-яка критика в мережі сприймається як особиста загроза. У підлітків самооцінка ще не є стійкою, тому віртуальне схвалення чи критика сприймаються особливо болісно. Крім того, дефіцит безпечного живого середовища позбавляє підлітків досвіду побудови міжособистісних стосунків [5].

У психології також звертають увагу на такі важливі наслідки цифрової залежності, які пов’язані зі сприйняттям власного тіла. Через використання фільтрів та наявності нереалістичних стандартів краси у соціальних мережах, підлітки часто починають соромитися своєї зовнішності. Особливо гостро це переживається в період статевого дозрівання, коли тіло змінюється. Тоді можуть розвиватися розлади харчової поведінки [5].

Оскільки підлітковий вік є важливим для формування особистості, дитині необхідна емоційна близькість і живі розмови з дорослими. Натомість тривале перебування у віртуальному просторі стає головним джерелом знань про життя, що формує викривлене уявлення та посилює тривожність. Окрему загрозу також становить участь у закритих онлайн-групах деструктивного спрямування, які маніпулюють прагненням підлітка бути прийнятим [5]. Підлітки особливо вразливі до таких груп, бо прагнення бути прийнятим у них сильніше за критичне мислення.

Віртуальний простір також виступає формою емоційного самозахисту від можливого неприйняття чи образ у реальному житті, тут підліток завжди має час обдумати відповідь, сховатися чи заблокувати співрозмовника, уникаючи

труднощів [5]. Для підлітка це спосіб уникнути болючого досвіду реального оцінювання, що ще більше гальмує дорослішання. Проте така ізоляція руйнує соціальну адаптацію, заважає знаходити спільну мову з оточенням та звужує коло інтересів. Часто прагнення до безперервного перебування в мережі викликане нав'язливим бажанням підтримувати ілюзію широкого кола контактів. Ця залежність залишається непомітною для самої дитини, поки вона має доступ до ресурсу. Однак у разі втрати зв'язку із цифровим середовищем миттєво виникає своєрідний синдром відміни, що супроводжується проблемами зі сном, відчуттям тривоги або страху, дратівливістю та різкими перепадами настрою [1]. У підлітків синдром відміни може проявлятися гостріше через менший досвід саморегуляції та більшу залежність від зовнішньої підтримки. Оскільки віртуальний простір слугує формою емоційного самозахисту від можливого неприйняття чи оцінювання в реальності, то проста заборона тут не працює. Потрібно виставляти межі в кіберпросторі та вчити дітей критично мислити, передусім потрібно будувати з ними довірливі стосунки. І відсутність, і надмір опіки є однаково небезпечними для психіки дитини-підлітка, тому ключове завдання полягає в пошуку серединного шляху між відпусканням і контролем [6, с.113].

Висновки. Таким чином, цифрова залежність підлітків є феноменом, що формується під впливом особистісних, сімейних чинників та нестабільності. Ця адикція призводить до підвищення тривожності, емоційного виснаження та погіршення навчання й соціалізації. Особлива вразливість підлітків зумовлена розвитком головного мозку та активністю дофамінової системи, що стимулює імпульсивну поведінку. Через брак вольового ресурсу молодь часто не здатна самостійно подолати залежність. Відтак, ефективна профілактика проблеми потребує відмови від жорстких заборон на користь емпатичної взаємодії, активного слухання та відновлення живого спілкування в родині.

Список використаних джерел

1. Атаманчук Н. М. Інтернет-залежність і механізми психологічного захисту підлітків. Проблеми сучасної психології. 2015. Вип. 30. С. 51-60.
2. Дука А. П. Вплив цифрової залежності на психоемоційний стан молоді. Інтеграція освіти, науки та бізнесу у відновленні національної економіки: вибір моделей та механізмів реалізації : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25 груд. 2025 р.). Чернігів : ГО «Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій», 2025. URL: https://reicst.com.ua/asp/article/view/conference-25-12-2025-04-01 (дата звернення: 15.09.2026).
3. Керебко Ю. І. Вплив інтернет-залежності на особистість підлітків. Теорія і практика сучасної психології. 2018. № 3. С. 190-193.
4. Профілактика інтернет-залежності в дітей та підлітків. Буковинський державний медичний університет : офіційний вебсайт. URL:

https://www.bsmu.edu.ua/blog/5996-profilaktika-internet-zalezhnosti-v-ditey-ta-pidlitkiv/ (дата звернення: 15.09.2026).
5. Цифрова залежність підлітків. Рубрика : мережеве видання. URL: https://rubryka.com/article/tsyfrova-zalezhnist-pidlitkiv/ (дата звернення: 15.09.2026).
6. Станчишин В. Для стосунків потрібні двоє. Київ : Віхола, 2024. 280 с.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.016.366-369

CONSTRUCTING DIGITAL IDENTITY: PSYCHOLOGICAL MECHANISMS OF PERSONAL AGENCY

Koshil Anton Igorovich
Postgraduate student
Department of General and Practical Psychology
Nizhyn State University named after Mykola Gogol, Ukraine

Abstract. The rapid development of digital technologies has transformed the ways in which individuals perceive themselves, present themselves to others, and construct their identities. Digital identity is not merely a technological representation of a person but a psychologically meaningful process involving self-presentation, self-perception, social comparison, feedback, self-regulation, and personal agency. This paper examines the psychological mechanisms underlying the construction of digital identity and focuses particularly on the role of personal agency in shaping online self-representations.

Keywords: digital identity, personal agency, self-presentation, identity construction, online behavior.

Introduction. The expansion of digital communication has fundamentally changed the psychological context in which identity is constructed and expressed. Social networks, online communities, professional platforms, virtual environments, and other digital spaces have become important arenas for interpersonal interaction and self-presentation. As a result, identity has acquired an explicitly digital dimension that influences both how individuals are perceived by others and how they perceive themselves.

From a psychological perspective, digital identity can be defined as the continuously developing representation of the self that is created and communicated within digital environments. This representation includes consciously selected elements, such as profile photographs, personal information, opinions, and displayed achievements, as well as less deliberate elements reflected in patterns of online activity. Consequently, digital identity is not a fixed structure but an ongoing process of construction and reconstruction.

Personal agency is therefore central to understanding digital identity. Human agency refers to the capacity of individuals to intentionally regulate their behavior, formulate goals, make choices, reflect on their actions, and influence the conditions in

which they operate. In digital environments, however, agency is exercised within systems characterized by technological affordances, social norms, feedback mechanisms, and algorithmic selection. The construction of digital identity can consequently be understood as an interaction between individual psychological activity and the structural characteristics of digital environments.

Aim and Objectives of the Study. The aim of this paper is to examine the psychological mechanisms involved in the construction of digital identity.

To achieve this aim, the objectives are defined as clarifying the psychological concept of digital identity and its relationship with the broader self-concept, identifying the main psychological mechanisms involved in digital identity construction, and determining the main psychological challenges associated with maintaining a coherent digital identity in contemporary digital environments.

Results of the Study and Their Discussion. One of the primary mechanisms of digital identity formation is selective self-presentation. Digital environments provide individuals with numerous opportunities to decide what aspects of themselves should become publicly visible. Users may select particular photographs, descriptions, achievements, opinions, interests, and forms of communication while excluding information that does not correspond to the desired image.

This process is consistent with understanding of self-presentation as a social activity aimed at managing impressions. However, digital environments increase the individual's control over self-presentation while simultaneously making that presentation more enduring [3, p. 96]. An online profile may remain accessible for extended periods and may be viewed by people from different areas of an individual's life. Individuals frequently use digital platforms to communicate identity-related information intentionally. Social networking environments provide users with specific opportunities to express aspects of identity through textual and visual self-presentation. Digital identity can therefore be viewed as a form of psychologically meaningful identity performance rather than merely a technical profile.

Nevertheless, selective self-presentation does not necessarily imply deception. Individuals may consciously emphasize particular authentic aspects of themselves depending on the social context. Digital identity is therefore often characterized by a tension between authenticity and strategic self-presentation.

Personal agency constitutes another central mechanism of digital identity construction. From the perspective of social cognitive theory, individuals are not passive recipients of external influences. They are capable of intentional action, self-reflection, and self-regulation. This means that users may consciously decide how they want to present themselves, which communities they wish to participate in, and how they respond to social feedback.

Agency in digital environments can be expressed through the ability to regulate one's online behavior. For example, an individual can decide what to publish, which interactions to maintain, what information to disclose, and how much importance to attach to external evaluation. Such decisions contribute to the formation of a relatively stable digital self [2, p. 241].

An important psychological factor in this process is self-efficacy, or the belief in one's capacity to successfully perform actions and regulate behavior. Individuals with stronger perceived self-efficacy may be more capable of resisting social pressure and maintaining consistency between personal values and online behavior. Conversely, excessive dependence on external validation may reduce autonomous regulation and make digital self-presentation increasingly reactive to audience responses. Thus, personal agency does not imply complete independence from the digital environment. Rather, agency refers to the individual's capacity to make meaningful choices within existing technological and social constraints.

Digital communication creates highly visible systems of social feedback. Likes, comments, views, reposts, follower numbers, and other indicators provide continuous information concerning how an individual's self-presentation is received by others. These signals may become psychologically significant because they function as indicators of social acceptance or rejection.

Social feedback can influence both emotional states and subsequent identity-related behavior. Positive responses may reinforce particular forms of self-presentation, while negative or absent responses may encourage the individual to modify their online behavior [4, p. 198]. This produces a feedback loop in which self-presentation influences social responses, and social responses subsequently influence future self-presentation. From the perspective of identity development, such feedback can have two opposite effects.

On the one hand, it can facilitate self-exploration by providing individuals with information about how particular aspects of their identity are perceived. On the other hand, excessive dependence on external validation may result in identity regulation that is primarily controlled by social approval rather than internal values. This distinction is particularly relevant to the psychological concept of autonomy [3, p. 96]. Self-Determination Theory emphasizes the importance of autonomy as one of the basic psychological needs underlying healthy self-regulation. When digital behavior becomes predominantly motivated by the expectation of approval, the process of identity construction may become less autonomous.

Another important mechanism is social comparison. Digital platforms expose individuals to large amounts of information about other people's appearance, achievements, lifestyles, relationships, education, and professional success. According to social comparison theory, individuals use information about others as a basis for evaluating themselves. The digital environment may intensify this mechanism because users are often presented with carefully selected and positively framed representations of other people's lives.

Such representations can create unrealistic comparison standards. Consequently, individuals may experience discrepancies between their actual self and the idealized identities they encounter online. This process can be interpreted through self-discrepancy theory [1, p. 175]. The theory distinguishes between different dimensions of self-representation, including the actual self and ideal or ought selves. Digital environments can increase the psychological salience of these discrepancies by

continuously presenting users with symbolic representations of desirable identities. At the same time, social comparison is not necessarily negative.

Comparison may also contribute to self-development, motivation, and exploration of possible identities. The psychological outcome depends on how the individual interprets the comparison and whether it is integrated into autonomous personal development or becomes a source of persistent self-evaluation.

The construction of digital identity also involves reflexivity, the capacity to observe, evaluate, and reconsider one's own thoughts, emotions, and behavior. Digital environments make self-observation more visible because individuals can repeatedly review their profiles, previous posts, photographs, and interactions. This creates opportunities for individuals to compare their current digital identity with their previous self-representations.

Such reflection may contribute to identity continuity and personal development. An individual may recognize changes in values, interests, relationships, or goals and incorporate these changes into a more coherent understanding of the self.

However, excessive self-monitoring may have the opposite effect. Constant concern with how one appears to others can shift attention from internal experience toward external evaluation. The individual may become more focused on managing impressions than on exploring personal values and authentic preferences. Therefore, reflexivity supports personal agency when it promotes conscious self-understanding rather than permanent self-surveillance.

Conclusion. The construction of digital identity is a multidimensional psychological process. Digital environments provide individuals with unprecedented opportunities to construct and modify representations of themselves, but these opportunities are accompanied by new forms of social and technological influence. Ultimately, digital identity should be understood not as a fixed online image but as a dynamic psychological process through which individuals continuously negotiate the relationship between who they are, how they wish to be perceived, and how digital environments shape the possibilities of self-expression. The study of this process is increasingly important for understanding contemporary personality development, interpersonal relationships, and psychological well-being in the digital age.

References

1. Bandura, A. (2006). Toward a psychology of human agency. Perspectives on Psychological Science, 1(2), 164–180.
2. Deci, L., & Ryan, M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological Inquiry, 11(4), 227–268.
3. Hoehe, R., & Thibaut, F. (2020). Going digital: How technology use may influence human brains and behavior. Dialogues in Clinical Neuroscience, 22(2), 93–97.
4. Feher, K. (2021). Digital identity and the online self: Footprint strategies – An exploratory and comparative research study. Journal of Information Science, 47(2), 192–205.

PSYCHODIAGNOSTIC INSTRUMENTS AND SOCIOLINGUISTIC CORRELATES OF PSYCHOLOGICAL CAPITAL

Melnychuk Dmytro
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Department of Psychology and Social Welfare
Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

Any deep theoretical and practical expansion of classical psychodiagnostics practice must firmly rely on a solid psychometric basis. This also applies to the globally recognized HERO model, which encompasses Hope, Efficacy, Resilience, and Optimism within the structure of human capital. Alongside standard psychometric questionnaires and traditional self-report scales, a key methodological principle is the premise that the development of HERO components can be determined through the direct registration of visual and linguistic markers during verbal communication. In this context, an urgent scientific necessity naturally arises to thoroughly investigate the psychodiagnostics markers of HERO components and their linguistic indicators by constructing an integral, logically validated axiomatic mapping model that combines psychometric and psycholinguistic research perspectives.

According to our findings, the discursive dimension of this scientific model strongly relies on classical sociolinguistic traditions of speech analysis. Following Pierre Bourdieu's fundamental concept, language functions not merely as a means of communication, but as a powerful form of symbolic capital: the mastery of legitimized, prestigious linguistic codes significantly reduces communicative transaction costs and is directly perceived by the speaker as a high degree of personal competence. This conceptually links linguistic capital closely with efficacy in Albert Bandura's deep interpretation. In both cases, we refer to a stable subjective sense of competence that powerfully influences an individual's behavioral activity and ability to overcome obstacles. The degree of an individual's deep integration into various stratification groups through their linguistic choices is detailed within the framework of the classical theory of speech social stratification and the linguistic market concept.

The stratification approach from the perspective of modern sociolinguistics successfully explains the external sociolinguistic correlates of resilience as a complex process of successful verbal and social adaptation in a changing, crisis-prone environment, while linguistic categorization reveals a specific impact on the attributional style, which is directly adjacent to the phenomenon of optimism. At the same time, communicative legitimation and the gradual reduction of linguistic marginalization are viewed as important linguistic correlates of hope in Snyder's classical theory, as they significantly expand the subjectively available repertoire of alternative pathways for achieving goals in live dialogue and facilitate the overcoming of psychological barriers.

Based on this theoretical foundation, an integral axiomatic model was developed to map each individual component of the HERO model with a clearly defined class of visual and sociolinguistic indicators:

1. Hope in verbal communication closely correlates with the class of linguistic indicators of achievement and purposeful drive, along with special markers of legitimized goal-setting discourse, necessarily accompanied by open visual markers of sustained attention focus.

2. Efficacy directly correlates with linguistic indicators of certainty and control, provided there is a minimal representation of defensive structures, as well as confident non-verbal visual patterns.

3. Resilience is organically linked to the subject's ability to flexibly switch linguistic registers in dialogue and a noticeably reduced proportion of negative-affective vocabulary during detailed descriptions of overcome difficulties against the background of stable visual facial control.

4. Optimism strongly correlates with a high proportion of positive-emotional vocabulary, special sociolinguistic markers of constructive dialogue, and characteristic forward-oriented linguistic constructs.

The summarized postulate of the developed model convincingly asserts that the set of discursive and visual counterparts of HERO components forms a unified, integral profile of an individual's psychological capital directly within the process of their verbal interaction with others. In the context of future research prospects, the proposed axiomatic approach creates a solid theoretical foundation for the qualitative integration of traditional questionnaires with the deep analysis of living speech. At the same time, axiomatic mapping has clear methodological boundaries. Thus, the postulate of direct bidirectional causality has been consciously excluded due to the objective lack of longitudinal data, and strong emphasis has been placed on the absolute necessity of rigorous control over socioeconomic factors, education level, the bilingualism phenomenon, and mandatory linguistic adaptation of the toolkit.

A separate strategic vector for the development of this concept is the fruitful synergy of academic disciplines, where classical personality psychology is enriched by powerful sociolinguistic tools for analyzing verbal communication. The successful practical implementation of this synthesis effectively bridges the traditional gap between subjective methods of psychological self-report and objective data of verbal behavior in real communication, inevitably directing researchers toward complex applied tasks of indirect psychoprofiling.

References

1. Bandura A. Self-Efficacy: The Exercise of Control. New York: W. H. Freeman and Company, 1997. 604 p. DOI: https://doi.org/10.1891/0889-8391.13.2.158
2. Bourdieu P. The Forms of Capital. Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education / ed. J. G. Richardson. New York: Greenwood Press, 1986. P. 241–258.

3. Luthans F., Youssef-Morgan C. M., Avolio B. J. Psychological Capital and Beyond. Oxford: Oxford University Press, 2015. 240 p. DOI: https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195187526.001.0001
4. Snyder C. R. Handbook of Hope: Theory, Measures, and Applications. San Diego: Academic Press, 2000. 445 p. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-012654050-5/50004-X

РОЗВИТОК СЛОВЕСНО-ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ У ДОШКІЛЬНИКІВ ІЗ ЛОГОПАТОЛОГІЄЮ

Стахова Ольга Олександрівна
к. психол. н., доцент
Гриб Владислава Василівна
здобувачка вищої освіти магістерського рівня
Соціально-психологічний факультет
Кафедра психології, логопедії та інклюзивної освіти
Житомирський державний університет
імені Івана Франка, Україна

Вербальний інтелект дітей дошкільного віку з мовленнєвими порушеннями формується уповільнено через низку чинників, зокрема через вікове домінування наочно-образного мислення, недостатню пізнавальну активність, низьку мотивацію до інтелектуальної діяльності та обмеженість мовних засобів.

Експериментальні дані ряду дослідників (Л. Андрусишина [1], І. Брушневська [2], О. Ласточкіна [3], О. Никитчук [4], А. Соловйова [3], О. Стахова [4] та ін.) підтверджують диспропорцію між невербальним і вербальним мисленням у дітей із ПМР. Попри це, загальний інтелектуальний розвиток дошкільників не страждає, що створює умови для ефективної корекції словесно-логічного мислення як основи майбутнього навчання.

З цією метою, з огляду на розкриті під час емпіричного дослідження особливості розподілу словесно-логічного мислення у дітей дошкільного віку з логопатологією за рівнями, де у більшої частини (57%) респондентів переважає середній рівень вербального інтелекту, наявність показників його низького щабля у 43% вихованців ЗДО, нами було розроблено психолого-педагогічну корекційну програму з розвитку словесно-логічного мислення у дошкільнят із ПМ «Подорож Країною квітів». Її зміст висвітлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Структура психолого-педагогічної корекційної програми «Подорож Країною квітів»

№ заняття та його тривалість	Тема заняття	Мета заняття
Заняття 1 (30 хв.)	Заняття «Давайте познайомимось!»	Знайомство учасників корекційної програми, налагодження з ними контакту, створення психологічно невимушеної, доброзичливої атмосфери довіри, відкритості, взаєморозуміння, взаємоприйняття, сприяння згуртованості групи, створенню позитивного клімату в ній; вироблення у дітей навичок міжособистісної взаємодії, розвиток їх комунікативних здібностей; виховання в дошкільнят почуття самоповаги й поваги до інших.
Заняття 2 (30 хв.)	Заняття «В гостях у квітів»	Ознайомлення дітей із різноманіттям рослинного світу (кущі, дерева, трав'янисті рослини), їх значенням у природі та житті людини; формування у дошкільнят уявлень про використання квітів у різних сферах життя (побут, свята, мистецтво, прикраси, подарунки); виховання прагнення робити добро іншим, любові до природи.
Заняття 3-4 (60 хв.)	Заняття «Квітковий сад кольорів»	Розширення уявлень дітей дошкільного віку про «зелених друзів», багатство флори, зокрема про квітучі рослини; виховання у дошкільників естетичних почуттів, дбайливого ставлення до навколишнього середовища.
Заняття 5 (30 хв.)	Заняття «У квітничку»	Поглиблення знань дітей про будову рослин й основні функції цих частин (коріння, пагін, листя, квітка, плід, насіння); формування у дошкільнят спостережливості, інтересу до природи.
Заняття 6 (30 хв.)	Заняття «А як квіточка живе?»	Розширення уявлень дітей про послідовність процесів у житті рослини (проростання, ріст, цвітіння, утворення плодів і насіння), значення в цьому умов навколишнього середовища (води, світла й тепла); виховання допитливості, позитивного ставлення до світу живої природи.
Заняття 7 (30 хв.)	Заняття «Рослини у моїй кімнаті»	Ознайомлення дітей із різноманіттям кімнатних рослин, закріплення їх назв; формування у дошкільників умінь за зовнішніми ознаками рослин визначати їх стан, доглядати за ними, доводити розпочату справу до кінця; виховання дбайливого ставлення до «зелених друзів», поваги до праці, працьовитості, акуратності, відповідальності.
Заняття 8 (30 хв.)	яття «Квіти моєї України»	гачення знань дошкільнят про українські рослинні символи (калина, верба, дуб, мак, барвінок, соняшник тощо); виховання в дітей любові до Батьківщини і гордості за неї, рідної природи та народних звичаїв, традицій.
Заняття 9-10 (60 хв.)	яття «До нових зустрічей!»	гальнення результатів й підведення підсумків психокорекційної роботи; проведення другого зрізу діагностики особливостей прояву та рівнів розвитку словесно-логічного мислення дошкільнят із ПМ.

Практична апробація програми «Подорож Країною квітів» засвідчила її результативність у формуванні когнітивних умінь дошкільників із мовленнєвими вадами. Діти продемонстрували здатність до аналізу й синтезу об'єктів, виділення їхніх структурних складових, порівняння та узагальнення явищ, встановлення логічних і причинно-наслідкових залежностей.

Крім цього, розвиток розумових операцій сприяв розширенню понятійного апарату та засвоєнню логічних конструкцій, що позитивно позначилося на мовленнєвій діяльності й становленні словесно-логічного мислення дітей.

Отримані результати підтверджують ефективність програми та її потенціал для широкого використання у практиці педагогів, психологів і батьків, які працюють із дітьми дошкільного віку з мовленнєвими порушеннями.

Список використаних джерел

1. Андрусишина Л.Є. Особливості інтелектуального розвитку дітей старшого дошкільного віку із загальним недорозвитком мовлення: автореф. дис. ... канд. психол. наук: 19.00.08. Київ, 2012. 20 с.
2. Брушневська І. Дослідження сформованості мислительних операцій у дітей із загальним недорозвитком мовлення. Актуальні питання гуманітарних наук. Дрогобич, 2020. Вип. 27, т. 1. С. 199-205. URL: https://www.aphn-journal.in.ua/archive/27_2020/part_1/35.pdf (дата звернення: 14.11.2025).
3. Соловйова А.А., Ласточкіна О.В. Діагностика мисленнєвих операцій старших дошкільників із загальним недорозвитком мовлення. Актуальні проблеми корекційної педагогіки, психології та реабілітації: матеріали І Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Суми, 15 травня 2018 р.). Суми, 2018. С. 124-127.
4. Стахова О.О., Никитчук О.В. Дослідження мислення дошкільників із порушеннями мовленнєвого розвитку. Collection of Scientific Papers: Modern Perspectives on Science and Economic Progress: 2nd International Scientific and Practical Conference (November 5-7, 2025). Vilnius, Lithuania, 2025. С. 447-449. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/11/Vilnius_Lithuania_05.11.25.pdf (дата звернення: 22.11.2025).

Section: Technical Sciences

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ВІДДІЛЕНЬ

Люлька Дмитро
к.т.н., доцент
Пономаренко Віталій
д.т.н., доцент
Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Національний університет харчових технологій, Україна

Анотація. Узагальнено практичний досвід діагностики, центрування валів та модернізації вузлів дифузійного обладнання цукрових заводів. Описано методику ультразвукового вимірювання залишкового терміну служби елементів екстракторів, новий спосіб центрування валів за допомогою лазерного нівеліра, а також конструктивні вдосконалення транспортної системи та ошпарювача бурякової стружки.

Ключові слова: екстрактор, ультразвукова діагностика, центрування валів, хвилеподібні лопаті, ошпарювач бурякової стружки.

Вступ. Ремонт екстракційного обладнання на цукрових заводах проводять в міжсезонний період. Відновлювальні роботи починаються з діагностики технічного стану, за результатами якої планують ремонт різної складності або модернізацію тих вузлів екстракторів, що не забезпечують роботу обладнання згідно технологічного режиму.

Автори накопичили значний практичний досвід монтажу, налагодження, експлуатації та діагностики дифузійного обладнання. До кожного дифузійного відділення потрібен індивідуальний підхід, який залежить від типу екстракторів, компонування бурякопереробного відділення та технологічної схеми. Як свідчить практика, для безаварійної роботи комплексну діагностику технічного стану обладнання необхідно проводити щонайменше один раз на п'ять років.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження — підвищення надійності та ефективності роботи промислових екстракторів шляхом удосконалення методів їхньої діагностики, розроблення методики центрування валів і модернізації робочих вузлів.

Для досягнення мети сформовано такі задачі: обґрунтувати методику оцінювання залишкового терміну служби вразливих елементів екстрактора на основі ультразвукової дефектоскопії; запропонувати та апробувати експрес-метод центрування валів шнеків і приводних станцій із використанням лазерного нівеліра. Для вертикальних екстракторів запропонувати удосконалені конструкції хвилеподібних лопатей.

Результати дослідження та їх обговорення. Вирішення задачі оцінювання надійності установки зводиться до визначення прогнозованого терміну служби її найвразливіших елементів. На основі сучасних методів ультразвукової дефектоскопії нами розроблено методику визначення залишкового терміну служби корпусу, трубовалу та транспортувальних елементів (лопатей, контрлопатей, витків шнеків, черпачного колеса). В основу діагностики покладено ультразвуковий імпульсний ехо-метод вимірювань, який дає змогу виявляти внутрішні дефекти й вимірювати товщину деталей без порушення цілісності металу.

Методика оцінювання надійності установки передбачає комплексне обстеження всього екстрактора. Товщину елементів царги корпусу й трубовалу вимірюють через однакові проміжки по довжині апарата згідно розробленої методики, а заміри товщини лопатей, контрлопатей, витків шнеків, черпачного колеса, лобових сит і даху проводять у місцях найбільшого зношення (рис. 1).

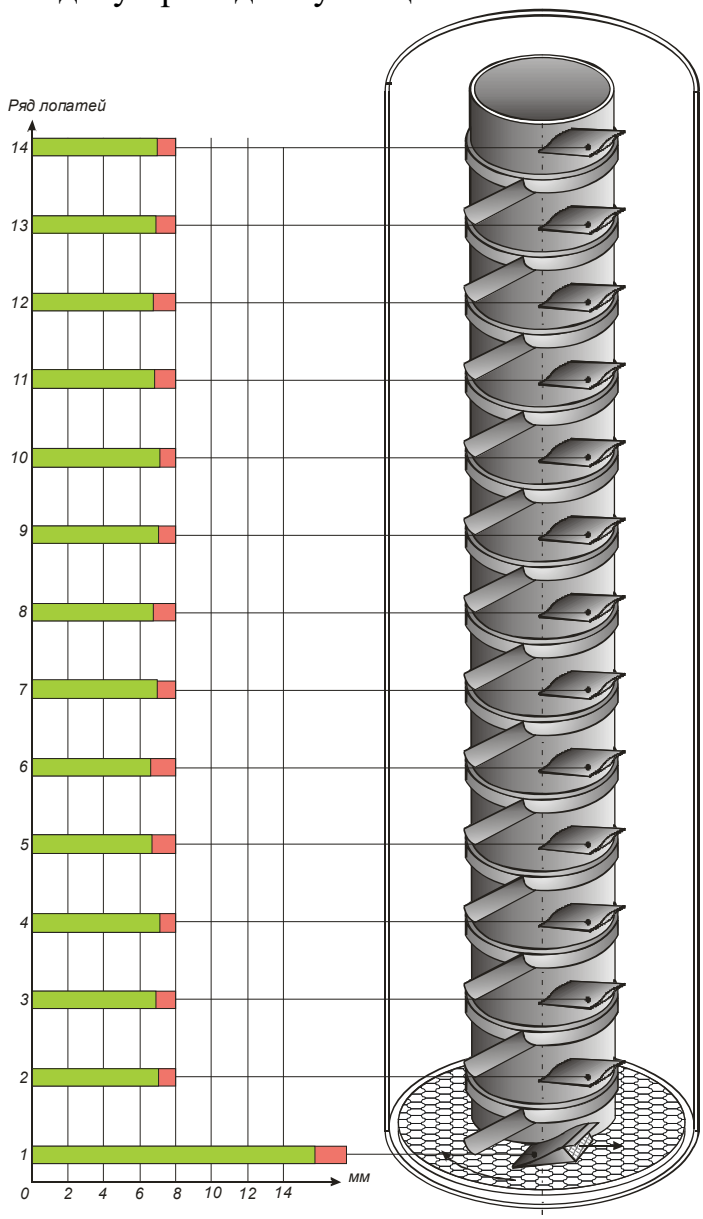

Рисунок 1. Результати вимірювань мінімальної товщини стінки лопатей дифузійної колони по кожному ряду

Упродовж багаторічних досліджень зношення елементів дифузійного обладнання на різних цукрових заводах з'ясовано, що найвища швидкість зношення корпусу, трубовалу, лопатей і контрлопатей (до 2 мм на рік) спостерігається у нижній та верхній частинах колонного апарата, а витків — у верхній частині похилого апарата. На величину спрацювання металу в нижній частині суттєво впливає абразивне зношення від високої швидкості руху сокостружкової суміші та наявності піску. У середній частині апарата зношення є меншим (до 1 мм на рік). У верхній частині до абразивного зношення додається інтенсивне корозійне — через зниження pH рідкої фази до 5,8…6,0 під впливом сульфітованої барометричної води та контакту з атмосферним повітрям.

При виявленні критичного зношення розробляються контрзаходи по відновленню його працездатності.

Іншим критичним чинником безаварійності є співвісність валів шнеків і приводних станцій екстрактора. Неспіввісність валів призводить до протікання дифузійного соку через сальникові ущільнення, прискореного зношення підшипників ковзання, зростання зазорів і додаткових навантажень на приводи апарата.

Замість трудомісткого методу «сталевої струни» авторами розроблено й практично реалізовано метод центрування валів шнеків і приводів похилих екстракторів за допомогою спеціального пристрою на основі лазерного нівеліра (рис. 2). Цей метод є безпечним, вимагає залучення лише двох фахівців, не потребує демонтажу транспортної системи чи проведення додаткових газозварювальних робіт.

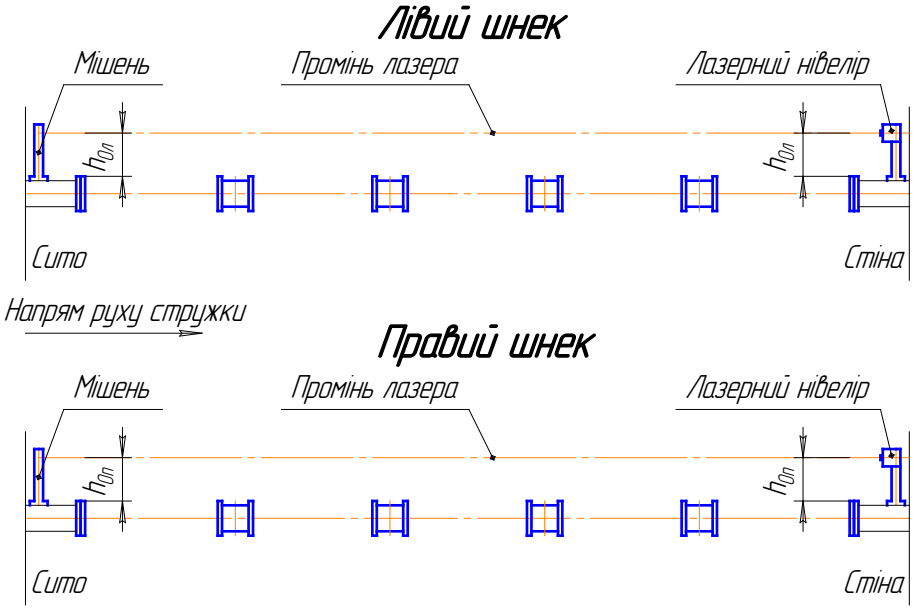

Рисунок 2. Схема установки променя лазера над лівим і правим шнеками

Важливим напрямом є удосконалення робочих вузлів екстракторів вертикального та горизонтального типів. Модернізація транспортної системи вертикальних екстракторів передбачає заміну стандартних лопатей трикутної або краплеподібної форми на лопаті хвилеподібної форми. Під час руху по такій

лопаті сокостружкова суміш послідовно проходить фази розпушення, часткового стискання й повторного розпушення. Це покращує омивання стружки, інтенсифікує процес знецукрення на 18,3% в порівнянні з трикутними лопатями та зменшує навантаження на приводи дифузійного апарата.

Для нормалізації роботи ошпарювача бурякової стружки пропонується вдосконалити його конструкцію шляхом встановлення соковідбірних карманів, що розвантажують лобове сито. Це дає змогу відбирати необхідний об'єм соку, знижує його температуру, покращує ошпарювання стружки та підвищує загальну продуктивність дифузійної установки.

Висновки. В результаті вивчення роботи дифузійних установок і апаратів пропонується: комплексний метод ультразвукової діагностики для оцінювання технічного стану й залишкового ресурсу дифузійного обладнання; високоточну методику центрування валів шнеків і приводів похилих екстракторів за допомогою лазерного нівеліра, що суттєво зменшує трудомісткість робіт; доведено ефективність модернізації колонного дифузійного апарата за рахунок використання хвилеподібних лопатей та встановлення соковідбірних карманів в ошпарювачі.

Список використаних джерел

1. Апілат, Л. М., Пономаренко, В. В., Пушанко, М. М. & Люлька, Д. М. (2017). Дифузійний апарат нахиленого типу (Патент України №122189). Державне патентне відомство України.
2. Pástor, M., Čarák, P., & Gömöry, I. (2019). The assessment of the residual stresses influence on generation of the infringement in shape-complex supporting members. Strojnícky časopis – Journal of Mechanical Engineering, 69(1), 85-96. https://doi.org/10.2478/scjme-2019-0007.
3. Люлька, Д. М. (2014). Розроблення конструкцій транспортних систем дифузійних апаратів з метою інтенсифікації процесу екстрагування [Автореф. дис. канд. техн. наук, Національний університет харчових технологій].
4. Mhemdi, H., Vorobiev, E. & Koubaa, M. (2016). Combined pressing-diffusion technology for sugar beets pretreated by pulsed electric field. Journal of Food Engineering, 168, 116-125. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.030.
5. Люлька, Д. М., Серьогін, О. О., Ізволенський, І. Є., Мащенко, О. А. & Чорний, Ю. А. (2023). Розроблення методів і засобів діагностики з підвищенням надійності екстракційного обладнання. Харчова промисловість, (33-34), 127-136.
6. Sotudeh-Gharebagh, R., Shamekhi, H., Mostoufi, N. & Norouzi, H. R. (2009). Modeling and optimization of the sugar extraction process. International Journal of Food Engineering, 5(4), Article 1398. https://doi.org/10.2202/1556-3758.1398.
7. Люлька, Д. Н. & Серегин, А. А. (2010). Зависимость интенсивности массоотдачи в системе «свекловичная стружка – диффузионный сок» от конструкции транспортных систем колонных диффузионных аппаратов. Сахар, (3), 47-48.

8. Gomez, A. & Fernandez, J. (2019). Laser-based alignment systems for heavy industrial rotating machinery: Precision and operational reliability. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25(2), 210–224. https://doi.org/10.1108/JQME-08-2018-0068.
9. Серьогін, О. О., Адаменко, В. П., Серьогіна, Л. К., Люлька, Д. М. & Серьогіна, Т. О. (2008). Колонний дифузійний апарат (Патент України №34157U). Державне патентне відомство України.
10. Wang, F. & Zhang, D. (2021). Optimization and field experiment of an adjustable device for sugar beet processing equipment. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14(6), 68-74. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211406.6667.
11. Серьогін, О. О., Люлька, Д. М. & Пономаренко, В. В. (2011). Практичний досвід експлуатації, діагностики та ремонту промислових екстракторів. Цукор України, 1(61), 51-55.

УДК 622.245.7

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.017.379-382

КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ПАКЕРІВ ТА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ГЕРМЕТИЗАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ

Фафлей І.Я.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Україна

Анотація

Свердловинні пакери є ключовим елементом обладнання нафтових і газових свердловин, проте наявні джерела здебільшого мають емпіричний або вузькоспеціалізований характер і не дають цілісного уявлення про переваги, недоліки та сфери раціонального застосування пакерів різних типів. У роботі систематизовано сучасні конструкції свердловинних пакерів за способом приведення в дію ущільнювального елемента (механічні, гідравлічні, самоущільнювальні, надувні, набухаючі) та виконано критичний порівняльний аналіз їхніх переваг і недоліків. Узагальнено властивості еластомерних матеріалів ущільнювальних елементів (NBR, HNBR, FKM, AFLAS/FFKM) за критеріями термостійкості, хемостійкості та вартості, а також розглянуто механізм екструзійного руйнування гуми в радіальному зазорі як спільну проблему всіх типів еластомерних ущільнень. Встановлено, що підвищення стійкості до екструзії ефективніше досягається конструктивними засобами, ніж заміною матеріалу. Виявлено прогалини в наявних дослідженнях, зокрема

відсутність системної методики проектування вузлів ущільнення та недостатню вивченість поведінки нових матеріалів у тривалій експлуатації.

Ключові слова: свердловинний пакер; ущільнювальний елемент; класифікація пакерів; еластомер; екструзія гуми; герметизаційна здатність.

Вступ

Свердловинні пакери є ключовим елементом обладнання нафтових і газових свердловин: вони забезпечують герметичне роз'єднання стовбура на інтервали та ізоляцію продуктивних горизонтів під час експлуатації, гідравлічного розриву пласта, кислотної й термічної обробки привибійної зони, нагнітання робочих агентів, а також випробування противикидного обладнання. Провідні виробники (Halliburton, SLB/Schlumberger, TAM International) пропонують широкий модельний ряд пакерів різних типів, а українські науковці досліджують герметизаційну здатність самоущільнювальних манжетних конструкцій. Разом з тим наявні джерела здебільшого мають емпіричний або вузькоспеціалізований характер і не дають цілісного уявлення про переваги, недоліки та сфери раціонального застосування пакерів різних типів, що обумовлює актуальність систематизації накопичених відомостей.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є систематизація сучасних конструкцій свердловинних пакерів, критичний аналіз їх переваг і недоліків та виявлення прогалин у наявних дослідженнях.

Результати дослідження та їх обговорення

Класифікація пакерів за способом приведення в дію.

За способом приведення в дію ущільнювального елемента пакери поділяють на механічні, гідравлічні, самоущільнювальні (манжетні), надувні та набухаючі (рис. 1). Механічні пакери встановлюються рухом колони НКТ (обертанням, осьовим переміщенням чи натягом); вони прості й дешеві, проте їх ефективність обмежується вагою колони. Гідравлічні пакери приводяться в дію надлишковим тиском у колоні, витримують значні перепади тиску та встановлюються в похилих стовбурах без руху колони, однак мають складнішу конструкцію і вищу вартість. Самоущільнювальні (манжетні) пакери – найпростіші за конструкцією; їхня манжета спрацьовує під дією надлишкового тиску свердловини, що робить їх особливо придатними для випробування устьового та противикидного обладнання (рис. 2). Надувні пакери (TAM CAP) розширюються закачуванням рідини в камеру-балон, діаметр може зростати до 2,5 раза, що ефективно для нерівних і відкритих стовбурів. Набухаючі пакери (зокрема серії TAM FREECAP) не мають рухомих частин: ущільнювальний елемент розбухає при контакті з водними чи вуглеводневими флюїдами, забезпечуючи об'ємне розширення до 200 % і перепад тиску до 15 000 psi, проте час їх спрацювання становить від кількох днів до тижнів.

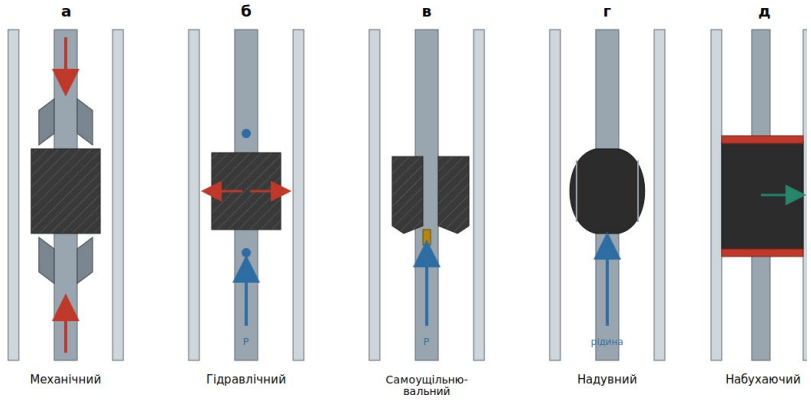

Рисунок 1 – Принципові схеми пакерів за способом приведення в дію: а – механічний; б – гідравлічний; в – самоущільнювальний (манжетний); г – надувний; д – набухаючий

Конструкція вузла ущільнення та властивості еластомерів.

Визначальним чинником герметизаційної здатності пакера будь-якого типу є конструкція вузла ущільнення (рис. 2) та властивості матеріалу ущільнювального елемента. Вибір еластомеру є компромісом між вартістю, термо- і хемостійкістю та стійкістю до екструзії: нітрильна гума (NBR) працює до 100–120 °C за найнижчої вартості; гідрований нітрильний каучук (HNBR) підвищує температурну межу до 130–150 °C і стійкість до екструзії; фторкаучук (FKM) розширює діапазон до 200–230 °C; перфторований еластомер (AFLAS/FFKM) витримує понад 250–320 °C, однак його вартість на порядок вища за інші матеріали. Ключовою проблемою всіх еластомерних ущільнень є екструзія – витискання матеріалу в радіальний зазор між пакером і колоною під дією перепаду тиску; для протидії застосовують антиекструзійні металеві кільця, проте за надмірного тиску можливе «переекструдування» гуми над кільцем.

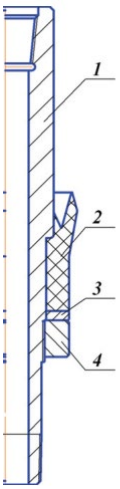

Рисунок 2 – Конструкція випробувального пакера манжетного типу: 1 – ствол; 2 – самоущільнювальна манжета; 3 – опорне кільце; 4 – гайка

Для аналізу напружено-деформованого стану ущільнювальних вузлів широко застосовують метод скінченних елементів з використанням гіперпружної моделі матеріалу Mooney–Rivlin. Встановлено, що найбільш небезпечною зоною концентрації напружень є нижня частина опорної ділянки манжети, що межує з радіальним зазором.

Порівняльний аналіз недоліків конструкцій.

Порівняльний аналіз конструкцій виявив такі основні недоліки: нерівномірний розподіл навантаження на обсадну колону та ризик «спаювання» металевих елементів у механічних і гідравлічних пакерах; однобічне сприйняття тиску та схильність до екструзії гуми в самоущільнювальних манжетах за відсутності єдиної науково-методичної бази проектування; чутливість оболонки до механічних пошкоджень у надувних пакерів; тривалий час спрацювання і чутливість до температури та складу флюїду в набухаючих пакерах; релаксацію напружень і хімічне старіння гуми в часі – для всіх типів ущільнювальних матеріалів.

Висновки

Систематизовано класифікацію свердловинних пакерів за способом приведення в дію та можливістю вилучення, узагальнено порівняльні характеристики ущільнювальних матеріалів і кількісні показники герметизаційної здатності. Встановлено, що незалежно від типу базового полімеру, стійкість до екструзії ефективніше підвищується конструктивними засобами (антиекструзійні кільця, армування торцевих ділянок, диференціювання геометричного профілю), ніж виключно заміною матеріалу. Виявлено прогалини в наявних дослідженнях: відсутність системної методики проектування вузлів ущільнення, недостатню вивченість поведінки нових матеріалів (термопластичних вулканізатів, гібридних набухаючих компаундів) у тривалій експлуатації та потребу оптимізації антиекструзійних елементів для умов високого тиску й високої температури. Ці напрями окреслюють перспективи подальших досліджень і можуть бути використані під час проектування нових конструкцій свердловинних пакерів.

Список використаних джерел

1. Production packers. Halliburton Completions. URL: https://www.halliburton.com/en/completions/well-completions/production-packers (дата звернення: 20.07.2026).
2. Packer Systems and Liner Hangers. SLB Completions. URL: https://www.slb.com/products-and-services/innovating-in-oil-and-gas/completions/well-completions/packers (дата звернення: 20.07.2026).
3. Пакеры затрубного пространства и вспомогательное оборудование (CAP): брошура. TAM International, 2005. 20 с.
4. Казымов Ш. П., Абдуллаева Э. С., Раджабов Н. М. Обзор конструкций набухающих пакеров и возможности их применения на месторождениях Азербайджана. SOCAR Proceedings. 2015. № 3. С. 43–51. DOI: 10.5510/OGP20150300251.
5. Дорохов М. А. Підвищення герметизаційної здатності самоущільнювальних свердловинних пакерів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 24 с.
6. Dorokhov M., Kostriba I., Biletskyi V. Experimental research on the sealing ability of borehole packers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4, № 8(82). P. 56–62. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.74831.

NON-EQUILIBRIUM PROCESSES AND NONLINEAR THERMAL BEHAVIOUR DURING RELAXATION AND RECRYSTALLIZATION OF METALS AND MIXTURES OF THEIR POWDERS DEFORMED BY COLD PRESSING

Solntsev Viktor
Doctor of Technical Sciences, Leading researcher
Borovik Valery
Candidate of Technical Sciences, Senior researcher
Bagliuk Genadi
Doctor of Technical Sciences, Professor
Solntseva Tetiana
Candidate of Technical Sciences, Senior researcher
Institute for Problems of Materials Sciences NASU, Kyiv, Ukraine

Abstract. The thermokinetics of aluminium relaxation in powder compacts containing nickel has been studied. A nonlinear character of temperature variation has been found, including the existence of a non-equilibrium phase transition of the Andronov–Hopf type. It has been established that the recrystallization temperature is practically independent of the volume content of nickel in the powder mixture.

Keywords: recrystallization of a mixture, aluminium, nickel, titanium, thermokinetic autowave processes, relaxation.

Introduction.

The regularities of relaxation and recrystallization of aluminium and other metals and alloys are of particular interest in connection with the problems of structure formation under a given technology of product manufacture and of the characteristics that ensure service properties. The structure of metals and alloys to a considerable extent ensures their strength properties under conditions of mechanical static and cyclic loading. The dynamics of thermal processes during recrystallization in the course of product formation substantially affects the formation of the spatial organization of its structure, especially in heterogeneous materials [1]. This leads to a qualitative change in their physicomechanical properties.

In powder compacts, as a result of the stochastic distribution of particles in size and shape, non-uniform deformation arises in each of the particles due to the multiplication effect, as well as external friction against the die walls. In most cases, relaxation and recrystallization were studied at the structural level. However, the external temperature during heating does not always correspond to the thermal state of the metal, which is caused by the release of the energy accumulated during deformation. The true temperature value during relaxation and recrystallization, and the rate and character of thermal energy release, are of fundamental importance for aluminium and its alloys. There is an assumption that the recrystallization process is similar to a first-order reaction, in which the transition from the deformed state to the

annealed one, with an ideal lattice, is accompanied by a thermal effect. By analogy with first-kind reactions, various kinds of wave processes arise during the high-temperature synthesis of intermetallics and other compounds [2–4]. If microplastic deformation processes are observed during recrystallization, travelling waves and thermal interference may arise in the system [5].

The aim of this work was to study thermal processes during relaxation and recrystallization of aluminium-based powder compacts.

Materials and methods of the experiment

The study of the thermokinetics of recrystallization was carried out on compacts made from a mixture of aluminium, titanium and nickel powders with sizes of less than 40 μm. Note that the relaxation and recrystallization temperatures of the latter are considerably higher than those of aluminium. They were introduced into the mixture gradually in order to exclude their reaction with the steel cylindrical die. Samples 10–12 mm long and 10 mm in diameter were obtained by pressing in a cylindrical die with two-sided application of the load on a precision mechanical press to a relative density of 80–82 %.

Chromel–alumel thermocouples were installed in holes 1 mm in diameter and 5 mm deep on the side of the cylindrical surface and were arranged along the sample with a step of 4 mm from one another. The first thermocouple was placed at a distance of 2 mm from the heating surface. Heating was carried out in a solar installation with one-sided radiant heating from the end face of the cylindrical sample. The temperature variation of the reaction system was recorded using a high-speed computerized signal recording system based on an analogue-to-digital converter (ADC) with a frequency of 80 kHz. After conversion, the actual signal recording frequency was 1 kHz. The error in determining the temperature under isothermal holding conditions was no more than one degree. Simultaneously, the information was displayed on a monitor in the time–temperature coordinate system, which made it possible to observe directly, and if necessary to control, the heating process.

The results of the study and their discussion.

The nonlinear character of the thermal behaviour of the compact is traced at all stages of its heating (Fig. 1) up to the onset of recrystallization. The relaxation processes are completely finished by an abrupt heat release during full recrystallization.

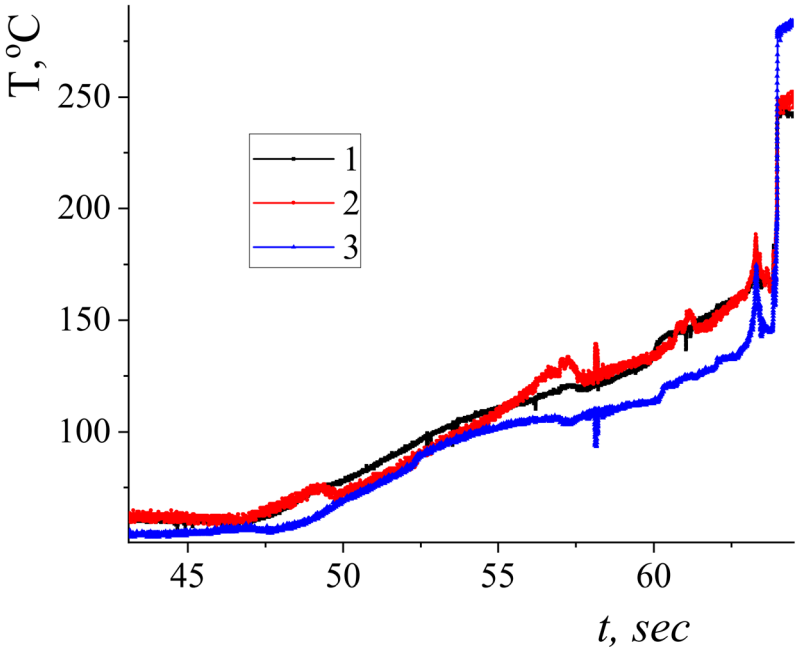

Fig. 1. Thermokinetics of relaxation up to complete recrystallization of aluminium in a compact of its mixture with nickel.

The relaxation stage is accompanied by the appearance of thermal waves. They propagate throughout the whole sample, which corresponds to both synchronous and asynchronous temperature variation in its volume. In the graphs (Fig. 2) a non-equilibrium transition of the Andronov–Hopf bifurcation type is clearly noticeable [6, 7]. With a further increase in the heating temperature, an autowave character of the variation of the internal temperature of the sample is observed.

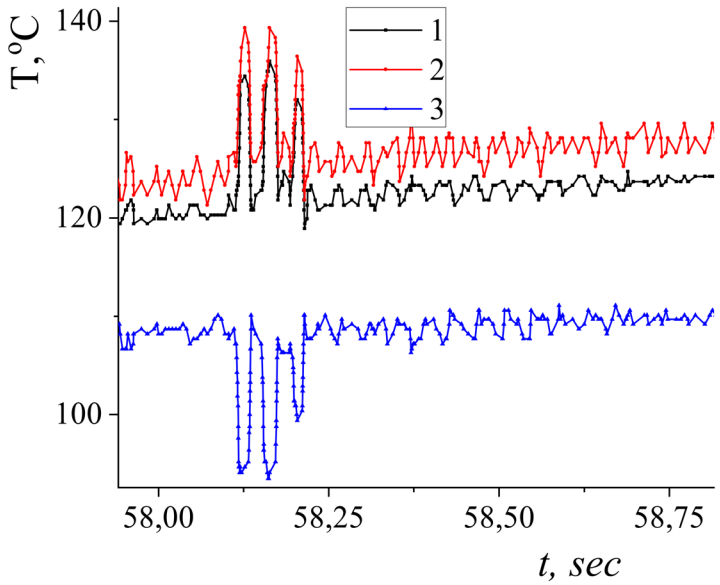

Fig. 2. Fragment of the diagram of the thermokinetics of relaxation of a compact from a mixture of aluminium with nickel in the region of the non-equilibrium phase transition of the Andronov–Hopf type.

Complete recrystallization and restoration of the crystal lattice proceed with a characteristic exponential growth of temperature due to the thermal effect (Fig. 3).

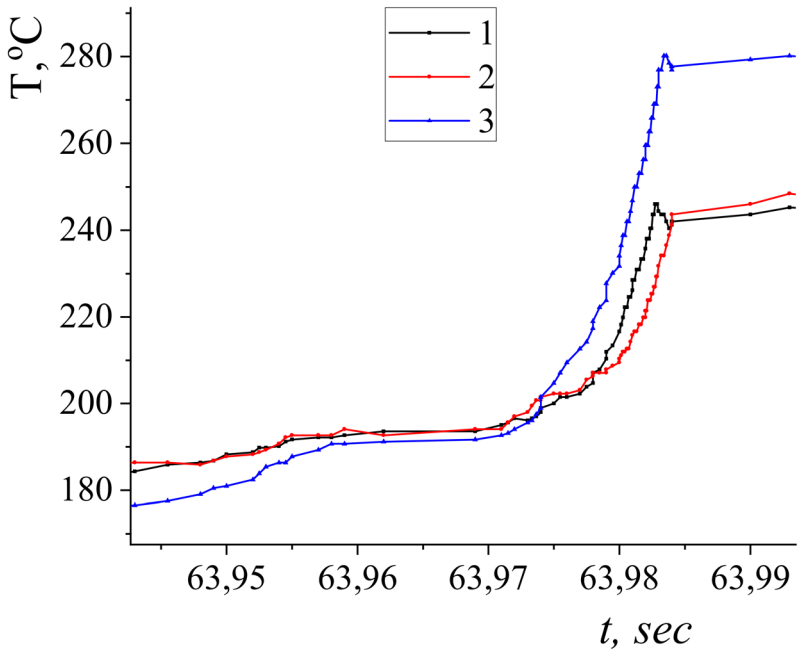

Fig. 3. Fragment of the recording of the thermokinetics of complete recrystallization of a compact from a mixture of aluminium with nickel.

The thermokinetics of aluminium relaxation in a compact with titanium is also nonlinear. At the initial stage, heat release appears, which leads to the emergence of a temperature gradient in individual parts of the sample. In this case, the thermokinetic trajectories in each individual volume of the sample differ noticeably (Fig. 4).

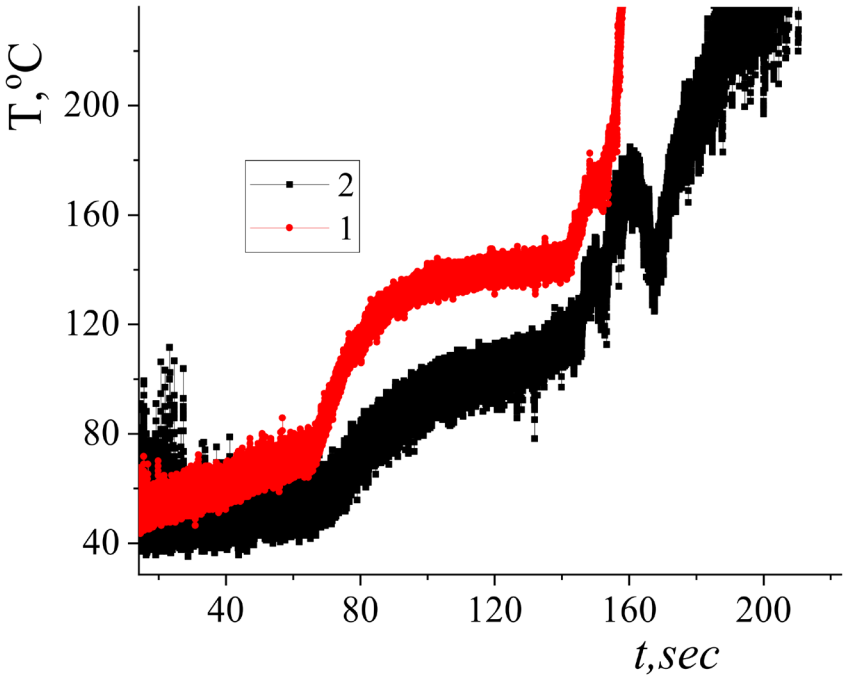

Fig. 4. Thermokinetics of relaxation up to complete recrystallization of a compact from a mixture of aluminium with titanium.

The relaxation processes of aluminium begin at fairly low temperatures, and the temperature variation trajectory demonstrates nonlinear oscillations (Fig. 5). In this region, non-equilibrium transitions with a change in amplitude are observed. The recrystallization temperature of aluminium is practically the same both in the compact from a mixture with nickel and in the compact with titanium. The temperature of the onset of the primary relaxation processes is also the same. However, the character of the thermokinetic trajectories differs. Probably, this is caused by a different degree of deformation of the aluminium particles during the pressing of aluminium in mixtures with nickel and titanium and by different micromechanical properties of these metals.

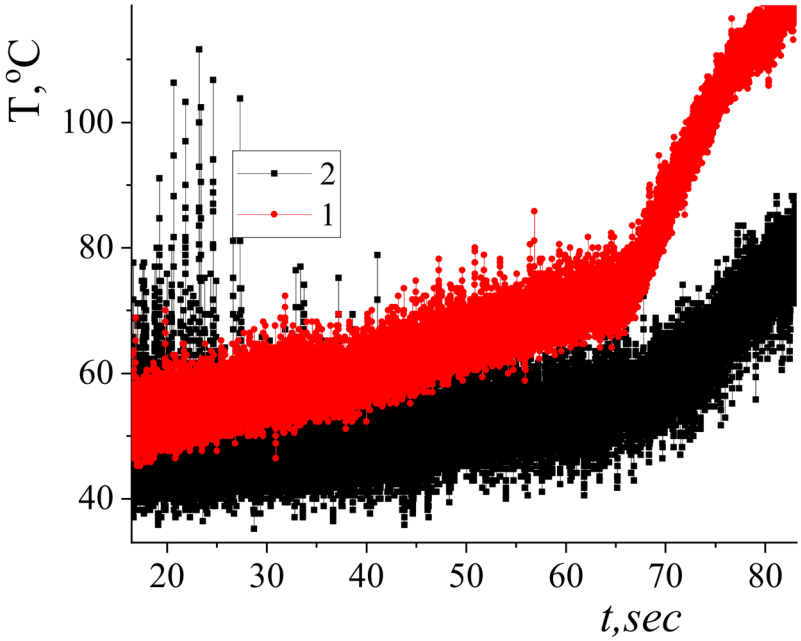

Fig. 5. Thermokinetics of the initial stage of the relaxation process of a compact of aluminium with titanium.

Conclusions: The relaxation of compacts of mixtures of aluminium with nickel and titanium begins at a temperature of about 40 °C. The relaxation process has a collective character, as evidenced by the appearance of thermal waves and the existence of a non-equilibrium phase transition of the Andronov–Hopf type. The thermokinetic trajectory at all stages of relaxation has a different character of behaviour, including nonlinear oscillations and processes. Over the whole studied range of compositions, the recrystallization temperature practically does not change.

References

1. Solntsev, V., Bagliuk, G., Nazarenko, V., Petrash, K., & Solntseva, T. (2024). Features of producing dispersion-hardened chromium-free nickel superalloys and their properties. In Topical aspects of modern scientific research: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference (pp. 79–87). CPN Publishing Group. https://sci-conf.com.ua/xii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-topicalaspects-of-modern-scientific-research-8-10-08-2024-tokio-yaponiya-arhiv/

2. Solntsev, V. P., Bagliuk, G. A., Solntseva, T. O., & Petrash, K. M. (2024). Thermal processes in the heating of powder compacts of metals and their compositions. I. Recrystallization thermokinetics of copper compacts. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 62(11–12), 667–672. https://doi.org/10.1007/s11106-024-00424-6
3. Solntsev, V. P., Bagliuk, G. A., Solntseva, T. O., & Petrash, K. M. (2024). Thermal processes in the heating of powder compacts of metals and their compositions. II. Thermokinetics of processes in the heating of porous iron. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 63(1–2), 24–29. https://doi.org/10.1007/s11106-024-00435-3
4. Solntsev, V. P., Bagliuk, G. A., Solntseva, T. O., & Petrash, K. M. (2024). Thermal processes in the heating of powder compacts of metals and their compositions. III. Thermokinetics of recrystallization processes in the heating of compacts produced from a mixture of aluminum and iron. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 63(3–4), 144–149. https://doi.org/10.1007/s11106-025-00446-8
5. Solntsev, V. P., & Solntseva, T. A. (2014). Generation and superposition of concentration and heat waves under exothermic reactions in powder systems. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 53(5–6), 269–274. https://doi.org/10.1007/s11106-014-9613-3
6. Fura, A., & Rybicki, S. (2007). Periodic solutions of second order Hamiltonian systems bifurcating from infinity. Annales de l'Institut Henri Poincaré C, Analyse non linéaire, 24(3), 471–490. https://doi.org/10.1016/j.anihpc.2006.03.003
7. Sabatini, M. (2002). Successive bifurcations at infinity for second order O.D.E.'s. Qualitative Theory of Dynamical Systems, 3(1), 1–17. https://doi.org/10.1007/BF02969330

ВПЛИВ ПОШКОДЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ НА ЇХ ПАРАМЕТРИ

Буданов Павло
к.т.н., доцент
Кирисов Ігор
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна

Сьогодні в Україні активно розвивається сонячна енергетика. На теперішній час в Україні налічується 1400 промислових СЕС та 86691 домогосподарств в яких встановлено фотоелектричні модулі. Зараз у світі найбільш поширені фотоелектричні модулі на основі моно- і полікристалічного кремнію, на долю яких доводитися 80% світового ринку виробництва фотоелектричних модулів. Термін експлуатації фотоелектричних модулів, який встановлює виробник, складає 20-25 років. Близько 90% ринку фотоелектричних модулів, становлять кристалічні кремнієві сонячні панелі, які втрачають від 10% до 40% вихідної потужності, у перші два роки експлуатації. При цьому значно знижується ККД фотоелектричного модуля.

Фактори, які підвищують ризик деградації фотоелектричних модулів:

1. Погодні умови (підвищена вологість і температура, їхні різкі коливання);
2. Дешеві напівпровідникові матеріали;
3. Пошкодження ізоляційного шару;
4. Потрапляння сторонніх предметів (пил, листя, крига, тощо);
5. Конструкційні помилки;
6. Неправильно підібраний електричний перетворювач.

Тріщини в комірках - це тріщини в кремнієвій підкладці фотоелектричних елементів, які часто не видно неозброєним оком. Тріщини комірки можуть утворюватися в сонячному елементі різної довжини та орієнтації. Нарізка пластин, виробництво елементів, зв'язування та процес вбудовування під час виробництва сонячного елемента та модуля викликають тріщини у фотоелектричних елементах. Зміна внутрішнього виробничого процесу спричиняє тріщини в елементах під час виробництва сонячних модулів.

Зокрема процес монтажу сонячних елементів має високий ризик появи тріщин в елементах. Після завершення виробництва джерелом тріщини у комірках є упаковка (транспортування) та повторне завантаження фотоелектричних модулів.

Тріщини в сонячних елементах є великою проблемою для фотоелектричних модулів оскільки їх важко уникнути і досі практично неможливо кількісно оцінити їх вплив на ефективність модуля протягом його терміну служби. Зокрема, наявність мікротріщин може лише трохи вплинути на потужність нового модуля, поки різні частини комірок все ще електрично пов'язані. Однак у міру старіння модуля та впливу термічної та механічної напруги можуть з'явитися тріщини.

Відносний рух частин потрісканих комірок, що повторюється, може призвести до повного поділу, що призведе до утворення неактивних частин комірок. У цьому випадку можлива чітка оцінка втрат потужності. Для фотомодуля на 60 комірок потужністю 230 Вт втрата частин осередку прийнятна, якщо втрачена частина становить менше 8% площі комірки.

Мікротріщини на поверхні фотоелектричного модуля приводять до підвищення опору в всередині сонячного елемента. Пошкодження комірки приводить до того, що електрони змушені використати альтернативні (перевантажені) шляхи. Наявність мікротріщин на поверхні сонячного елементу, призводить до зменшення строків експлуатації фотоелектричного модуля та впливає на розрахунки окупності інвестицій, загальну продуктивність. Заміна ушкоджених одиничних сонячних елементів, часто не підходить, через зміни електричних характеристик фотоелектричних модулів.

Проведений аналіз різних видів мікротріщін фотоелектричних модулів в процесі експлуатації показав, що утворення мікротріщін приводить до зменшення строків експлуатації та погіршення технічних характеристик фотоелектричних модулів, тому на разі дуже актуальною є розробка методів контролю параметрів фотоелектричних модулів

Список використаних джерел

1. Кирисов І. Г., Буданов П. Ф. Методи досліджень поглинаючої поверхні сонячних елементів Збірник наукових праць «Машинобудування». УІПА. 2022. № 29. С. 104–117. https://doi.org/10.32820/2079-1747-2022-29-104-117.
2. Кирисов І. Г., Хом'як Е. А., Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Підходи та вимоги до моделювання структури напівпровідникового шару сонячного елемента. Вісник ВПІ. 2022. Вип. 1. С. 35–38. https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-160-1-35-38.
3. Мельников В. Є. Дослідження характеристик сонячного елемента при пошкодженні поверхні фотоелектричного модуля. Машинобудування. 2023. №32. С. 72-79. DOI: https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-72-79 URL: https://jmash.uipa.edu.ua/index.php/jMASH/article/view/314/239

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Рамш Василь
к.т.н., доцент
Потапенко Микола
к.т.н., доцент
Кафедра енергетики і автоматики
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», Україна

В даний час вітроенергетичні установки (ВЕУ) є одним із перспективних напрямів використання відновлюваних джерел енергії. Завдяки використанню енергії вітру для виробництва електричної енергії ВЕУ характеризуються відсутністю прямих викидів забруднювальних речовин у процесі експлуатації, що зумовлює їх важливе значення для підвищення екологічності та сталості енергетичних систем [1].

Водночас посилення екологічних, технічних та економічних вимог до експлуатованих і проєктованих енергетичних установок, а також необхідність декарбонізації промисловості, зниження енергоємності валового внутрішнього продукту, скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів, зменшення викидів CO_2 і рівня шумового забруднення зумовлюють актуальність подальшого розвитку та вдосконалення ВЕУ. Особливого значення набуває підвищення їх енергетичної ефективності, надійності та економічної доцільності, що потребує розроблення й удосконалення конструктивних та технологічних рішень для ефективного використання енергії вітрового потоку.

У цьому контексті розвиток вітроенергетики є важливою складовою сучасної енергетичної стратегії, оскільки сприяє диверсифікації джерел енергії, зменшенню залежності від традиційних видів палива та підвищенню енергоефективності й екологічності систем енергопостачання.

Структурну схему одного з варіантів вітроенергетичної установки наведено на рис. 1. Регулювання механічної потужності, що відбирається лопатями вітрової турбіни від повітряного потоку, здійснюється шляхом зміни їх орієнтації відносно напрямку вітру, тобто кута встановлення лопатей [2].

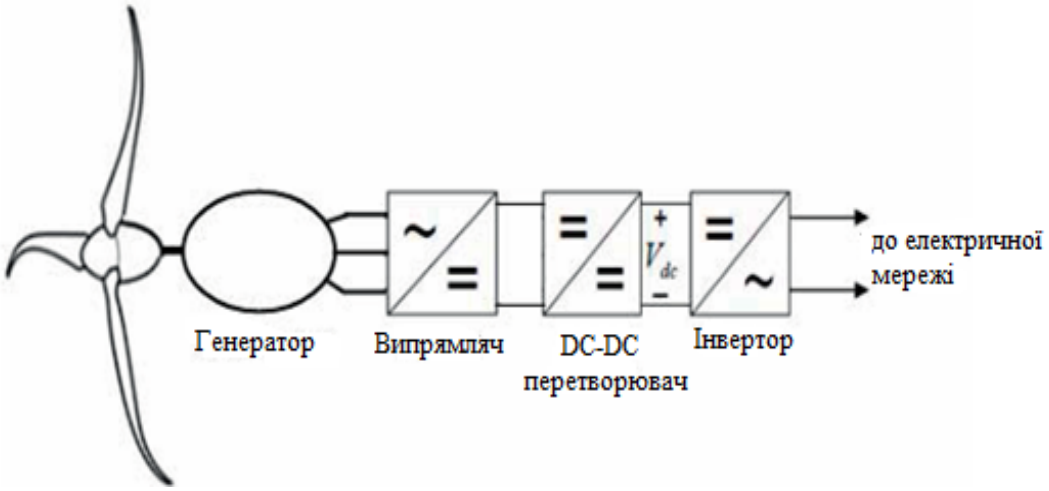

Рис. 1. Структурна схема ВЕУ

Одним із основних елементів ВЕУ є вітрогенератор, призначений для перетворення механічної енергії, що передається від вітрової турбіни, в електричну. Вибір типу та основних параметрів генератора безпосередньо впливає на енергетичну ефективність, надійність і довговічність функціонування всієї вітроенергетичної установки.

У ВЕУ (рис.1) використовується два основних способи передачі механічної енергії від турбіни до генератора: через редуктор (редукторний привод) або без редуктора – прямий привод. Передача через редуктор використовується, наприклад, у ВЕУ великої потужності, коли частота обертання турбіни становить 10–30 об/хв, а електрогенератор характеризується високою номінальною частотою обертання, наприклад, 1000–3000 об/хв. У цьому випадку механічна передача застосовується для узгодження номінальних частот обертання турбіни та генератора.

Використання редукторних ВЕУ має такі недоліки:

– додатковий шум та вібрації ВЕУ, викликані механічною зубчастою передачею. Це особливо слід враховувати при розміщенні ВЕУ поблизу житлових зон;

– необхідність частішого обслуговування ВЕУ (редукторів);

– наявність втрат потужності у редукторах;

– ускладнення схеми ВЕУ, зниження надійності.

Взаємозв'язок між такими параметрами ВЕУ, як потужність, розміри лопатей та частота обертання турбіни, визначається співвідношенням:

$$\omega_T \sim P_T^{-0,5}, \quad (1)$$

де ω_T – кутова частота обертання турбіни, рад/с; P_T – механічна потужність, одержувана турбіною від вітру, Вт.

Залежність (1) показує, що зі збільшенням потужності ВЕУ кутова частота обертання турбіни зменшується. Це необхідно враховувати під час проєктування

генератора, особливо для ВЕУ малої та середньої потужності, які працюють у широкому діапазоні частот обертання.

В даний час для потужних ВЕУ все більшого поширення набуває прямий привод генератора від турбіни, що усуває зазначені недоліки редукторного приводу. Недоліком прямого приводу є той факт, що робота генератора при прямому приводі обумовлює необхідність його проєктування на низьку частоту обертання турбіни і високий крутний момент, що призводить до зростання габаритів і ваги генератора [3].

До недавнього часу у ВЕУ широкого застосовувались в якості генераторів асинхронні генератори з короткозамкненим і фазним ротором [4]. Однак переваги синхронних машин, удосконалення їх активних елементів зумовлюють дедалі більше застосування таких типів машин у ВЕУ. Найбільші перспективи у ВЕУ має застосування синхронних генераторів із збудженням від постійних магнітів (ГПМ) на основі рідкісноземельних магнітних матеріалів. Завдяки застосуванню таких магнітних систем досягається висока питома потужність ГПМ, високий ККД і знижуються експлуатаційні витрати.

Іншими способами вдосконалення генераторів ВЕУ є застосування машин з обмотками на основі надпровідників. Це дозволяє досягти щільностей струму обмоток до сотень амперів на квадратний міліметр і магнітних індукцій у зазорі до 2 Тл.

У зв'язку з розширенням застосування ГПМ у ВЕУ важливими завданнями є оптимізація їх конструкцій, підвищення ККД та питомої потужності, покращення теплового режиму машини. Для цього в процесі дослідження та розрахунку ГПМ необхідно проводити оцінку впливу основних конструктивних і електромагнітних рішень (кількість пазів, частота обертання, розміри елементів магнітної системи та ін) на показники його роботи, включаючи вихідну потужність, ККД, втрати енергії, масогабаритні параметри. Крім того, зважаючи на роботу генераторів ВЕУ малої та середньої потужності при порівняно невеликих частотах обертання (десятки-сотні об/хв) важливими параметрами, які повинні бути визначені в розрахунках, є момент залипання та пульсації моменту генераторів.

Таким чином, можна виділити такі основні напрями удосконалення ГПМ, що застосовуються у ВЕУ:

– підвищення надійності та зниження витрат на обслуговування;

– оптимізація маси та розмірів генератора;

– зниження моменту залипання та пульсацій моменту на валу;

– ефективне керування теплими режимами генератора.

Особливий інтерес становить проєктування генераторів для ВЕУ потужністю від 2–3 до 10 кВт, які широко застосовуються в наземних вітроенергетичних установках, зокрема в безпосередній близькості до місць проживання та роботи людей. Важливими параметрами під час проєктування таких ВЕУ є кількість пар полюсів генератора, конструкція ротора та частота його обертання. Зазначені параметри істотно впливають на електричні й механічні характеристики генератора, зокрема електромагнітний момент, рівень

і характер зміни напруги, коефіцієнт корисної дії та вібраційні характеристики. Оптимізація цих параметрів дає змогу підвищити енергетичну ефективність ВЕУ, забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики та знизити рівень шуму і вібрацій, що є особливо важливим для використання таких установок поблизу житлових і робочих зон.

Список використаних джерел

1. Півняк Г. Шкрабець Ф. Нойбергер Н. Ципленков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Д.: НГУ, 2015. 335 с.
2. Шубенко О. В., Король С.В. Порівняння ефективності вітротурбіни при різних законах керування кутовою швидкістю генератора. Міжнародний науково-технічний журнал «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». 2016. С. 319–322.
3. Sopanen J., Ruuskanen V., Nerg J., Pyrhonen J. Dynamic Torque Analysis of a Wind Turbine Drive Train Including a Direct-Driven Permanent-Magnet Generator. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2011. Vol. 58, Issue 9. P. 3859–3867.
4. Palmieri M., Bozzella S., Cascella G.L., Bronzini M., Torresi M., Cupertino F. Wind Micro Turbine Networks for Urban Areas: Optimal Design and Power Scalability of Permanent Magnet Generators. Energies. 2018. Vol. 11(10). P. 1-21.

ОСОБИСТА НЕОБЕРЕЖНІСТЬ ПОТЕРПІЛОГО В СУДОВІЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ: КРИТЕРІЇ ПРИЧИННОЇ АТРИБУЦІЇ ТА МЕЖІ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ

Пугач Іван
кандидат технічних наук, доцент, судовий експерт
Харченко Віталій
доктор філософії, завідувач лабораторії
Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр
МВС України, Україна
Пугач Інна
судовий експерт, який не є працівником державної спеціалізованої установи,
м. Дніпро, Україна

1. Вступ. У судових інженерно-технічних експертизах, пов’язаних із виробничим травматизмом, поведінка потерпілого нерідко стає одним із центральних об’єктів причинного аналізу. Це закономірно: працівник є елементом виробничої системи, його дії можуть змінювати конфігурацію небезпечної ситуації, а нормативно-правові акти покладають на нього самостійні обов’язки щодо додержання вимог охорони праці. Водночас ретроспективний

характер експертного дослідження створює ризик підміни причинного аналізу простим міркуванням від наслідку: якщо працівник травмувався, отже, він «не подбав про власну безпеку»; якщо перебував у зоні дії небезпечного фактора, отже, «сам допустив необережність». Такий перехід є методично небезпечним, оскільки фактичне положення особи в момент реалізації події ще не визначає, чи існувала конкретна нормативна вимога діяти інакше, чи була вона застосовною, чи мала особа реальну можливість її виконати та чи перебувало відповідне відхилення у причинному зв'язку з наслідком.

Проблема загострюється через співвідношення двох нормативних конструкцій. Стаття 14 Закону України «Про охорону праці» передбачає обов'язок працівника дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також безпеку і здоров'я оточуючих, знати й виконувати вимоги нормативно-правових актів, правила поводження з машинами, механізмами та іншими засобами виробництва [1]. Водночас у Класифікаторі видів подій, причин, обладнання, устаткування, машин, механізмів і транспортних засобів, що призвели до настання нещасного випадку, наведеному в додатку 9 до Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.04.2019 № 337 (далі відповідно – Класифікатор і Порядок № 337), «особисту необережність потерпілого» віднесено до психофізіологічних причин за кодом 36 за умови відсутності технічних і організаційних причин, впливу шкідливих або небезпечних виробничих факторів, порушень вимог законодавчих і нормативно-правових актів та інструкцій тощо [2]. Отже, використання загального обов'язку за статтею 14 як автоматичного доказу коду 36 створює внутрішню логічну суперечність: установлене порушення законодавчої вимоги не може одночасно слугувати єдиною підставою для категорії, умовою застосування якої є відсутність порушень законодавчих і нормативно-правових актів.

2. Стан наукової розробленості проблеми. У чинному вітчизняному методичному забезпеченні судової інженерно-технічної експертизи сформовано загальні підходи до дослідження поведінки осіб та її причинного значення. Науково-методичні рекомендації Міністерства юстиції України відносять до основних завдань експертизи з охорони праці та безпеки життєдіяльності встановлення причин і механізму нещасного випадку, відповідності дій осіб нормативно-технічним документам та причинно-наслідкового зв'язку між діями певних осіб і настанням події [3]. Методики, зареєстровані в Реєстрі методик проведення судових експертиз за кодами 10.5.18, 10.15.01, 10.15.02 і 10.15.03, передбачають дослідження причин події, нормативної відповідності дій причетних осіб, технічної можливості запобігання та причинно-наслідкових зв'язків [4].

У методичному забезпеченні за напрямами 10.5 і 10.15 наявні окремі елементи, необхідні для оцінювання поведінки потерпілого: методика за кодом 10.15.01 відносить особисту необережність до можливих причин аварійності та травматизму, а методика за кодом 10.15.03 передбачає критерій необхідності

та метод уявного виключення для встановлення причинного значення досліджуваних обставин [4]. Водночас методичної конкретизації потребує розмежування інженерно-технічної оцінки об'єктивованої поведінки потерпілого, причинно значущого нормативного відхилення та компетенційно-класифікаційного контролю коду 36.

У сучасній науці про безпеку простежується відхід від пояснення аварій єдиною «помилкою людини» на користь аналізу взаємодії людини, техніки, організації та середовища [5–7]. Дослідження когнітивних упереджень у розслідуваннях водночас указують на ризик завищення пояснювальної ваги індивідуальної поведінки порівняно із ситуаційними та системними факторами [8, 9]. Повна відмова від аналізу поведінки конкретного працівника також є методично неправильною: індивідуальні дії можуть мати самостійне причинне значення, якщо воно встановлено на достатній фактографічній і нормативній основі; тому системний підхід не повинен перетворюватися на автоматичну no blame презумпцію [10]. Отже, наукове завдання полягає не в апріорному перенесенні причинності з людини на систему або навпаки, а у формуванні доказово контрольованої процедури персоніфікованої причинної атрибуції, яка одночасно враховує системний характер події та межі спеціальних знань експерта.

Отже, подальшої методичної конкретизації потребують розмежування фактичної участі потерпілого, нормативного відхилення і причинно значущого порушення, а також визначення меж інженерно-технічного дослідження під час вирішення питання про застосування коду 36.

Метою дослідження є обґрунтування методичних критеріїв встановлення причинного значення поведінки потерпілого та визначення умов, за яких у судовій інженерно-технічній експертизі може розглядатися класифікація причини як «особиста необережність потерпілого».

Для досягнення мети поставлено такі завдання: проаналізувати нормативний зміст коду 36 та його співвідношення зі статтею 14 Закону України «Про охорону праці»; визначити межі компетенції експерта 10.5/10.15 під час оцінювання поведінки потерпілого; сформувати послідовність контрольних критеріїв персоніфікованої причинної атрибуції; запропонувати окремий «класифікаційний фільтр» для коду 36; апробувати алгоритм на структурно трансформованому знеособленому модельному кейсі.

Матеріали та методи дослідження. Нормативну основу дослідження становили Закон України «Про охорону праці» [1], Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 17.04.2019 № 337 [2], а також Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень і Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень, затверджені наказом Міністерства юстиції України від 08.10.1998 № 53/5 [3]. Історичним інтерпретаційним джерелом слугував лист Держгірпромнагляду України

від 31.01.2012 № 716/0/3-1-6/12; з огляду на його ненормативний характер і зв'язок із попереднім Порядком його використано не як чинну правову підставу, а для простеження генези підходу до «особистої необережності» як залишкової причини [11].

Науково-методичну базу дослідження становили рекомендації щодо розроблення експертних методик [12], методики, зареєстровані в Реєстрі методик проведення судових експертиз за кодами 10.5.18, 10.15.01, 10.15.02 і 10.15.03 [4], а також авторські напрацювання щодо контрольних точок експертного алгоритму, критичної оцінки вихідних даних, хронологічної реконструкції події, меж категоричності та недопустимості компенсації дефіциту інформації припущеннями [13–16].

У дослідженні застосовано нормативно-правовий, порівняльний, формально-логічний, системно-структурний і ситуаційний методи, а також метод уявного виключення та структуризацію вихідних даних. Їх використано для аналізу нормативних конструкцій і методичного забезпечення, розмежування підтверджених відомостей та похідних оцінок, а також визначення причинного значення поведінки потерпілого. Методологічною основою дослідження є контрольований перехід між послідовними рівнями судження: кожний наступний висновок допускається лише за достатньої фактографічної та нормативної обґрунтованості попереднього.

Для ілюстративної апробації використано модельний кейс, сформований шляхом структурного абстрагування матеріалів експертної практики зі збереженням їх причинно-логічної структури та зміною ідентифікуючих обставин. Апробація на одному модельному кейсі дає змогу продемонструвати застосування алгоритму, але не становить його емпіричної валідації.

3. Результати дослідження

3.1. Нормативна природа «особистої необережності потерпілого»

Класифікатор відносить «особисту необережність потерпілого» до психофізіологічних причин за кодом 36 та визначає умови його застосування: відсутність технічних і організаційних причин, впливу шкідливих або небезпечних виробничих факторів, порушень вимог законодавчих і нормативно-правових актів та інструкцій тощо [2]. Отже, можливість застосування коду 36 залежить від відсутності прямо визначених Класифікатором обставин. У практичному аспекті це означає, що категорія не повинна використовуватися як «зручне» пояснення будь-якої необережної на вигляд поведінки потерпілого; до неї можна переходити лише після перевірки альтернативних технічних, організаційних і нормативно зумовлених причин.

Важливо розмежувати місце категорії у Класифікаторі та предмет спеціальних знань експерта. Формальне віднесення «особистої необережності потерпілого» до психофізіологічних причин зумовлює функціональну асиметрію компетенції експерта 10.5. У межах інженерно-технічних спеціальних знань експерт уповноважений досліджувати об'єктивовану поведінку потерпілого, її відповідність конкретним нормативно-функціональним вимогам, реальну

можливість безпечної альтернативи, причинне значення встановленого відхилення, а також наявність технічних та організаційних причин, які виключають застосування коду 36. Водночас позитивне встановлення «особистої необережності» як психофізіологічної властивості, внутрішнього ставлення, ступеня усвідомлення ризику або форми вини не належить до предмета одноособової експертизи за спеціальністю 10.5. Отже, експерт 10.5 може встановити відсутність інженерно-технічних підстав або наявність обставин, що виключають застосування коду 36, але не повинен підміняти таке дослідження самостійною психофізіологічною чи юридичною атрибуцією необережності.

Історичне роз'яснення Держгірпромнагляду 2012 року також пов'язувало можливість використання цієї категорії з відсутністю впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, технічних і організаційних причин та порушень потерпілим конкретних інструкцій або правил [11]. Хоча зазначений лист не є нормативно-правовим актом і стосувався попереднього порядку розслідування, він підтверджує сталість самої логіки: особиста необережність розглядалася не як первинна презумпція, а як причина, до якої переходять після виключення більш конкретних причинних конструкцій. Чинне формулювання коду 36 додатково прямо згадує порушення законодавчих і нормативно-правових актів, що робить потребу такого розмежування ще виразнішою.

3.2. Стаття 14 Закону України «Про охорону праці» та межі її експертного використання

Стаття 14 Закону України «Про охорону праці» установлює декілька самостійних обов'язків працівника: дбати про особисту безпеку та безпеку інших осіб; знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці та правила поводження з засобами виробництва; користуватися засобами колективного та індивідуального захисту; проходити передбачені медичні огляди [1]. У судово-експертному дослідженні ця норма може бути загальною нормативною основою аналізу поведінки працівника, однак її перша частина має високий рівень абстракції. Формула «дбати про особисту безпеку» сама по собі не описує, що саме повинен був зробити конкретний працівник у конкретну секунду конкретного технологічного процесу.

Тому експертне твердження «працівник не подбав про особисту безпеку» не може бути вихідною посилкою; воно може бути лише похідним від попередньо встановленої конкретної моделі належної поведінки. Така модель формується через спеціальні НПАОП, технологічні регламенти, інструкції з охорони праці, посадові або робочі інструкції, карти технологічного процесу, правила експлуатації обладнання, встановлений порядок взаємодії працівників, а в окремих випадках – через безпосередньо застосовну вимогу закону. Після цього експерт зіставляє належну модель із фактичними діями. Без такого операційного розкриття загальна норма статті 14 ризикує перетворитися на універсальний «заповнювач» відсутньої конкретної вимоги, що робить будь-

який нещасний випадок ретроспективно пояснюваним самим фактом травмування потерпілого.

Встановлення порушення статті 14 і класифікація коду 36 не є тотожними операціями. Перше відповідає на питання про нормативну відповідність конкретної дії або бездіяльності; друге – на питання про вид причини у спеціальному класифікаторі. Якщо у матеріалах установлено конкретне порушення законодавчого або нормативно-правового акта і доведено його причинне значення, нормативна умова коду 36 щодо відсутності таких порушень не виконується. Отже, одна й та сама обставина не повинна одночасно описуватися як «порушення статті 14» і використовуватися як достатня підстава для «особистої необережності» за кодом 36. Ці конструкції можуть бути пов’язані змістовно, але не є взаємозамінними.

3.3. Межі компетенції експерта при оцінюванні поведінки потерпілого

Предмет експертизи 10.5 охоплює встановлення причин і наслідків нещасного випадку, механізму події, відповідності дій осіб нормативно-технічним документам та причинного зв’язку між діями осіб і наслідком [3]. Програма підготовки експертів 10.5 прямо включає дослідження причин та умов події, розслідування та аналіз нещасних випадків, навчання з охорони праці, безпеку вантажно-розвантажувальних робіт і внутрішньоцехового транспорту. Аналогічно методичне забезпечення 10.15 передбачає ситуаційний аналіз, порівняння фактичної та ідеальної моделей дій працівників, встановлення технічної можливості запобігання та причинно-наслідкових зв’язків [4]. Таким чином, дії потерпілого є допустимим об’єктом інженерно-технічного причинного аналізу.

Водночас межа експертної компетенції проходить між об’єктивованою поведінкою та внутрішньою психічною сферою. Експерт може встановити, що працівник виконав дію, яка не відповідала конкретній вимозі, і що ця дія за наявних умов була причинно значущою. Експерт може також установити, чи була в працівника реальна техніко-організаційна можливість діяти відповідно до нормативної моделі. Проте твердження про те, що особа «свідомо ігнорувала ризик», «розуміла неминучість наслідку», «була неуважною як психологічна властивість» або мала певний психофізіологічний стан, без спеціальної психологічної чи медичної основи виходять за межі такого інженерно-технічного дослідження. Аналогічно експерт не вирішує питання вини та юридичної відповідальності.

Ця межа безпосередньо узгоджується із загальними вимогами судово-експертної діяльності: експерт зобов’язаний провести повне й об’єктивне дослідження, але не має права вирішувати питання, що виходять за межі його спеціальних знань, зокрема питання права [3]. Отже, у висновку доцільно уникати психологізованих формулювань «свідомо», «навмисно», «легковажно розраховував» тощо, якщо вони не є вихідними даними, встановленими компетентним суб’єктом, і не входять до предмета конкретної комплексної експертизи.

3.4. Дворівневий алгоритм оцінювання поведінки потерпілого

Результати аналізу дають підстави запропонувати дворівневу процедуру. Перший рівень відповідає на питання, чи можна персоніфіковано пов'язати конкретні дії або бездіяльність потерпілого з настанням події. Другий – чи відповідає встановлена причинна конструкція спеціальним умовам класифікації «особиста необережність потерпілого».

На першому рівні послідовно перевіряються шість контрольних критеріїв.

Критерій 1 – конкретність нормативно-функціональної вимоги. Необхідно встановити не загальну тезу «працівник мав бути обережним», а конкретну дію, заборону або порядок поведінки, які діяли в досліджуваній ситуації. Вимога повинна бути ідентифікована за джерелом, змістом і сферою застосування.

Критерій 2 – застосовність вимоги до конкретної особи і ситуації. Перевіряється професія, трудова функція, характер виданого завдання, місце та режим виконання роботи, а за потреби – проходження навчання, інструктажу, стажування, перевірки знань і документальне доведення локальної вимоги. Загальний запис про проходження навчання не завжди підтверджує знання конкретного алгоритму взаємодії, якщо зміст такого навчання матеріалами не розкрито.

Критерій 3 – установленість фактичного відхилення. Дія або бездіяльність потерпілого повинна підтверджуватися матеріалами, а не виводитися лише з наслідку. Сам факт перебування в місці травмування, падіння, потрапляння в небезпечну зону або контакту з обладнанням не є сам по собі доказом нормативного порушення. Спочатку має бути визначено, яке саме правило вимагало іншої поведінки.

Критерій 4 – реальна можливість діяти відповідно до вимоги. Це не обов'язково трасологічне чи транспортно-технічне питання про швидкість або точну траєкторію. У 10.5/10.15 воно розкривається як техніко-організаційна можливість реалізувати нормативно передбачений безпечний алгоритм у межах фактично організованого виробничого процесу з урахуванням просторових, компетенційних, часових і функціональних передумов відповідної дії [15]. Якщо безпечна модель вимагала дії, яку працівник за встановленої організації робіт фактично не міг виконати, персоніфікована атрибуція потребує перегляду.

Критерій 5 – причинне значення встановленого відхилення. Наявність порушення не означає автоматично, що воно є причиною травмування. Для встановлення причинного значення відхилення застосовуються критерій необхідності та метод уявного виключення: визначається, чи настав би досліджуваний наслідок за відсутності цього відхилення при збереженні інших установлених умов. Якщо наслідок не залежить від цього відхилення, воно не повинно включатися до безпосереднього причинного ланцюга.

Критерій 6 – достатність і простежуваність джерельної основи та межа компетенції. Кожна ланка "вимога – застосовність – фактична дія – відхилення – можливість – причинне значення" повинна мати джерельну опору. Якщо матеріали є неповними, суперечливими або не дозволяють перейти від однієї

ланки до іншої без припущення, експерт має фіксувати межу встановленого, а не компенсувати дефіцит інформації категоричним судженням [13, 14, 16].

Після позитивного проходження першого рівня експерт може сформулювати висновок про причинно значущу невідповідність дій потерпілого конкретній вимозі. Однак це ще не означає можливість класифікації коду 36. На другому рівні перевіряється «залишковий фільтр»: чи відсутні технічні причини; чи відсутні організаційні причини; чи не встановлено причинно значущого впливу шкідливого або небезпечного виробничого фактора; чи не встановлено порушення законодавчих, нормативно-правових актів або інструкцій. За наявності хоча б однієї із зазначених обставин умови застосування коду 36, визначені Класифікатором, не виконуються [2].

3.5. Ілюстративна апробація алгоритму на модельному кейсі

На виробничій дільниці комплектування металевих конструкцій виконувалися дві взаємопов'язані операції. Оператор мобільного підйомно-транспортного засобу переміщував касети з деталями з накопичувальної зони на проміжний майданчик. Працівник-комплектувальник забирав касети з цього майданчика за допомогою платформного візка і переміщував до робочого поста. Технологічні потоки були фактично суміщені: фізичного розмежування зон не було, послідовність «спочатку повне завершення маневру мобільного засобу – потім вхід працівника» локальними документами однозначно не визначалася. Під час чергового циклу після встановлення вантажу оператор почав від'їзд мобільного засобу, а працівник одночасно розпочав переміщення візка; відбувся травмуючий контакт.

У матеріалах наявні: акт розслідування; локальна інструкція оператора мобільного засобу; загальна інструкція працівника-комплектувальника; журнал загального та повторного інструктажу; протокол перевірки знань; технологічна карта переміщення вантажів; відеозапис; пояснення оператора та двох працівників. Оператор зазначив, що перед початком від'їзду подав попереджувальний сигнал. Відеозапис підтверджує взаємну просторову близькість учасників, однак не дозволяє встановити, чи сприйняв працівник сигнал як повідомлення про конкретний маневр. Документів, які б підтверджували доведення працівнику спеціальної заборони входити до робочої зони до повної зупинки мобільного засобу, не надано. Загальне навчання з охорони праці підтверджено, але його програма не містить ідентифікованої спеціальної вимоги такого змісту.

Застосування першого критерію показує, що конкретна нормативно-функціональна модель поведінки потерпілого не встановлена в достатньо визначеній формі. Передбачений статтею 14 Закону України «Про охорону праці» загальний обов'язок працівника дбати про особисту безпеку не визначає, у який момент він мав припинити рух, на якій стадії технологічного циклу очікувати та хто повинен був забезпечити черговість операцій. Відповідно, критерій 2 також не може бути позитивно завершений: неможливо довести знання особою правила, яке не ідентифіковане як конкретна доведена їй вимога.

Відеозапис установлює фактичну дію працівника – переміщення в зоні взаємодії із мобільним засобом, але за відсутності визначеної заборони ця дія не може автоматично кваліфікуватися як нормативне відхилення. Показання оператора про попереджувальний сигнал є релевантним джерелом, однак сам факт подання сигналу не тотожний доведенню того, що потерпілий його сприйняв, правильно інтерпретував та був зобов'язаний за конкретним нормативним алгоритмом виконати певну дію. Тому критерій 3 у частині саме «порушення» залишається непідтвердженим.

Водночас аналіз організації процесу встановлює, що дві операції були технологічно взаємопов'язаними та допускали одночасне перебування учасників у спільному робочому просторі. За таких умов питання реальної можливості виконувати гіпотетичне правило «не входити до зони до повної зупинки» нерозривно пов'язане з тим, чи було саме так організовано виробничий цикл. Якщо організація робіт фактично передбачала іншу послідовність, переносити на працівника обов'язок компенсувати організаційний дефект власною ситуативною обережністю методично неправильно.

Отже, у модельному кейсі достатньо підстав констатувати фактичну участь потерпілого в механізмі події, але недостатньо підстав для переходу до персоніфікованого причинного порушення. Крім того, наявність дефекту організації взаємодії технологічних потоків означає, що визначені Класифікатором умови застосування коду 36 не виконуються. Формула «працівник перебував поруч із мобільним засобом, тому не подбав про власну безпеку і допустив особисту необережність» є методично недостатньою, оскільки пропускає щонайменше чотири необхідні операції: ідентифікацію конкретної вимоги, встановлення її застосовності, доведення фактичного відхилення і перевірку причинного значення.

Для експертного висновку у подібній ситуації коректнішою є формула межі встановленого: «За наданими матеріалами не встановлено конкретних дій або бездіяльності потерпілого, які одночасно не відповідали б визначеній для нього вимозі охорони праці та з технічної точки зору перебували б у безпосередньому причинно-наслідковому зв'язку з настанням нещасного випадку. Достатніх фактичних і нормативних підстав для віднесення поведінки потерпілого до «особистої необережності потерпілого» як самостійної причини не встановлено».

4. Обговорення. Запропонований підхід уточнює, а не заперечує можливість причинного значення поведінки потерпілого. Його принципова відмінність від «no blame» ідеології полягає в тому, що індивідуальна дія не вилучається з аналізу; навпаки, для неї встановлюється такий самий стандарт причинної верифікації, як для технічного або організаційного фактора. Це відповідає сучасній науковій дискусії: системне мислення застерігає від редукції складної події до «помилки працівника», але дослідження критики абсолютного no-blame підходу показують, що і повне вилучення поведінки людини з причинної моделі може обмежувати якість розслідування [5–7, 10].

Тому методично нейтральна позиція полягає у перевірці кожної гіпотези на однакову вимогливість до фактичної та причинної основи.

Особливу роль у цьому відіграє проблема когнітивного упередження. Емпіричні дослідження розслідувань виробничих інцидентів виявляють підтверджувальне упередження, ефект якоря та фундаментальну помилку атрибуції, коли поведінкові характеристики учасника отримують завищену пояснювальну вагу порівняно із ситуаційними й організаційними умовами [8, 9]. У судово-експертному контексті ризик особливо високий, оскільки експерт працює ретроспективно і знає наслідок. Знання наслідку створює психологічно привабливу, але логічно хибну конструкцію: «оскільки подія сталася, потерпілий мав помітити небезпеку». Контрольні критерії зменшують цей ризик, примушуючи повернутися від оцінного ярлика до джерельно підтверджуваних питань: яка вимога діяла, чи стосувалася вона особи, яка конкретна дія не відповідала їй, чи була безпечна альтернатива реально доступною і чи змінила б вона розвиток події.

Важливим є також відмежування інженерно-технічної «реальної можливості діяти належним чином» від питань інших експертних спеціальностей. Для 10.5 та 10.15 немає потреби безпідставно переходити до точних швидкостей, траєкторій, часу реакції або транспортно-трасологічних розрахунків, якщо це не є предметом комплексного дослідження. Йдеться передусім про функціональну можливість виконати нормативний алгоритм у реально організованому процесі: чи існував безпечний порядок роботи; чи був він забезпечений організаційно; чи мав працівник повноваження, засоби і умови для його дотримання; чи не вимагала фактична організація робіт одночасного виконання взаємоконфліктних операцій. Така постановка утримує аналіз у межах спеціальних знань з охорони праці та промислової безпеки.

Практичним наслідком запропонованого алгоритму є розмежування конкретного причинно значущого порушення потерпілого та коду 36. Якщо встановлене нормативне відхилення перебуває у причинному зв’язку з подією, експерт повинен назвати саме це відхилення, не підміняючи його узагальненою категорією “необережності”. За відсутності причинного зв’язку порушення не є причиною, а за наявності технічних або організаційних причин умови застосування коду 36 не виконуються. Навіть за дотримання визначених Класифікатором умов експерт 10.5 описує конкретний факт поведінки та межі його причинної інтерпретації, не встановлюючи психофізіологічних властивостей потерпілого або форми вини.

Важливо враховувати і статус акта розслідування нещасного випадку. Висновки комісії про причини події є важливим джерелом інформації, але не замінюють самостійного експертного дослідження. У методичній роботі доцільно розділяти первинну фактографію, похідні інтерпретації та підсумкові оцінки інших суб’єктів. Якщо акт містить «особисту необережність» як причину, експерт повинен перевірити, якими конкретними даними вона обґрунтована, а не переносити класифікацію до власного висновку. Такий підхід узгоджується з вимогами повноти, обґрунтованості та перевірюваності висновку

і з принципом, за яким дефіцит даних не може компенсуватися припущенням [12, 14, 16].

У методичному забезпеченні 10.5/10.15 запропонований алгоритм доцільно розміщувати після просторово-часової реконструкції механізму події та визначення технічних і організаційних причин, але до остаточного синтезу персоніфікованих причинно-наслідкових зв'язків [15]. Таке місце забезпечує оцінювання поведінки потерпілого в межах уже встановленої системи умов, оскільки причинне значення однієї дії може змінюватися залежно від організації технологічного процесу. Водночас процедура конкретизує концепцію контрольних точок судово-експертного алгоритму [13] через формалізацію переходу від поведінкової фактографії до причинного судження та компетенційно-класифікаційного контролю коду 36.

Запропонований алгоритм має концептуально-методичний характер і визначає послідовність дослідження поведінки потерпілого в межах спеціальних знань експерта 10.5/10.15. Його застосування може бути розширене на різні механізми виробничого травмування з урахуванням особливостей конкретної експертної ситуації, складу вихідних даних і предмета дослідження. Перспективним напрямом є подальша апробація контрольних критеріїв на сукупності знеособлених кейсів та оцінювання відтворюваності результатів їх застосування.

5. Висновки.

1. Класифікатор відносить «особисту необережність потерпілого» до психофізіологічних причин за кодом 36 і пов'язує можливість його застосування з відсутністю технічних та організаційних причин, впливу шкідливих або небезпечних виробничих факторів, порушень законодавчих і нормативно-правових актів та інструкцій тощо [2].

2. Формальне віднесення категорії до психофізіологічних причин зумовлює функціональну асиметрію компетенції експерта 10.5: він уповноважений досліджувати об'єктивовані дії/бездіяльність, нормативно-функціональні вимоги, умови їх виконання, причинне значення відхилення та обставини, що виключають застосування коду 36, але не вправі самостійно встановлювати «особисту необережність» як психофізіологічну властивість, внутрішнє ставлення, ступінь усвідомлення ризику або форму вини.

3. Загальний обов'язок працівника «дбати про особисту безпеку», передбачений статтею 14 Закону України «Про охорону праці», не є самодостатнім доказом особистої необережності. Для експертного висновку він повинен бути операціоналізований через конкретну модель належної поведінки у досліджуваній виробничій ситуації.

4. Запропоновано перший рівень алгоритму персоніфікованої причинної атрибуції, що включає шість контрольних критеріїв: конкретність вимоги; її застосовність до особи і ситуації; установленість фактичного відхилення; реальну техніко-організаційну можливість діяти відповідно до вимоги; причинне значення відхилення; достатність і простежуваність джерельної основи з дотриманням меж компетенції.

5. Другий рівень алгоритму становить компетенційно-класифікаційний контроль коду 36. За наявності технічної чи організаційної причини, причинно значущого впливу шкідливого або небезпечного виробничого фактора, порушення законодавчого чи нормативно-правового акта або інструкції умови застосування коду 36 не виконуються [2]. Невстановлення обставин, за наявності яких ці умови не виконуються, саме по собі не є достатньою підставою для висновку про особисту необережність потерпілого.

6. Сам факт перебування потерпілого у зоні реалізації небезпеки, отримання травми або фізичної можливості змінити положення не є тотожним установленню причинно значущого порушення. У висновку експерта за дефіциту необхідних даних доцільно формулювати межу встановленого, а не компенсувати відсутню ланку припущенням.

7. Запропонований алгоритм може використовуватися в методичному забезпеченні експертиз за спеціальностями 10.5 і 10.15 під час дослідження причинного значення поведінки потерпілого. Його доцільно застосовувати після реконструкції механізму події та встановлення технічних і організаційних причин, але до формування остаточного висновку про персоніфіковані причинно-наслідкові зв'язки. Результатом застосування алгоритму є визначення меж інженерно-технічної оцінки поведінки потерпілого та наявності обставин, за яких умови застосування коду 36 не виконуються.

Список використаних джерел

1. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text (дата звернення: 27.09.2026).
2. Про затвердження Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві : постанова КМУ від 17.04.2019 № 337. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/337-2019-%D0%BF#Text (дата звернення: 27.09.2026).
3. Про затвердження Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень та Науково-методичних рекомендацій з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : наказ Міністерства юстиції України від 08.10.1998 № 53/5. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text (дата звернення: 27.09.2026).
4. Реєстр методик проведення судових експертиз. Методики за реєстраційними кодами 10.5.18, 10.15.01, 10.15.02, 10.15.03. Міністерство юстиції України. URL: https://rmpse.minjust.gov.ua/search (дата звернення: 27.09.2026).
5. Read G. J. M., Shorrock S., Walker G. H., Salmon P. M. State of science: evolving perspectives on 'human error'. Ergonomics. 2021. Vol. 64, No. 9. P. 1091–1114. DOI: 10.1080/00140139.2021.1953615.
6. Salmon P. M., Hulme A., Walker G. H., Waterson P., Stanton N. A. Towards a unified model of accident causation: refining and validating the systems thinking safety tenets. Ergonomics. 2023. Vol. 66, No. 5. P. 644–657. DOI: 10.1080/00140139.2022.2107709.

7. Ahmadi Rad M., Lefsrud L. M., Hendry M. T. Application of systems thinking accident analysis methods: A review for railways. Safety Science. 2023. Vol. 160. 106066. DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106066.
8. MacLean C. L. Cognitive bias in workplace investigation: Problems, perspectives and proposed solutions. Applied Ergonomics. 2022. Vol. 105. 103860. DOI: 10.1016/j.apergo.2022.103860.
9. Thallapureddy S., Sherratt F., Bhandari S., Hallowell M. R., Hansen H. Exploring bias in incident investigations: An empirical examination using construction case studies. Journal of Safety Research. 2023. Vol. 86. P. 336–345. DOI: 10.1016/j.jsr.2023.07.012.
10. Sherratt F., Thallapureddy S., Bhandari S., Hansen H., Harch D., Hallowell M. R. The unintended consequences of no blame ideology for incident investigation in the US construction industry. Safety Science. 2023. Vol. 166. 106247. DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106247.
11. Про надання роз'яснень щодо проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві : лист Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України від 31.01.2012 № 716/0/3-1-6/12. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vr321811-12#Text (дата звернення: 27.09.2026).
12. Розроблення експертних методик: зміст, структура, оформлення (з урахуванням міжнародних стандартів, прийнятих в Україні) : методичні рекомендації / О. Г. Рувін та ін. ; за заг. ред. О. Г. Рувіна, С. Г. Кримчука, А. В. Свінцицького. 2-ге вид., перероб. та допов. Київ : КНДІСЕ, 2021. 102 с.
13. Пугач І., Харченко В., Пугач І. Контрольні точки в алгоритмі судової гірничотехнічної експертизи: загальна концепція. Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice : Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA, July 13–15, 2026. С. 275–280. DOI: 10.5281/zenodo.21360219.
14. Пугач І. І., Харченко В. В., Пугач І. Ю. Неповнота експертного дослідження та необґрунтованість висновку у судовій гірничотехнічній експертизі: процесуально-методичне розмежування. Криміналістика і судова експертиза. 2026. Вип. 71. С. 353–374. DOI: 10.33994/kndise.2026.71.23.
15. Пугач І., Харченко В. Хронологічна модель реконструкції гірничотехнічних інцидентів у судово-експертній практиці. Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice : Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA, April 28–30, 2025. P. 263–275. DOI: 10.70286/EOSS-27.04.2025.
16. Пугач І., Харченко В. Оцінка вихідних даних у судовій гірничотехнічній експертизі в контексті нормативних обмежень і меж технічної інтерпретації. Innovative Approaches in Modern Science and Technology. 2025. P. 319–324. DOI: 10.70286/ISU-26.03.2025.

DOI 10.70286/EOSS-28.09.2026.018.406-409

ДЕФОРМУВАННЯ ОБОЛОНОК ІЗ НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ

Пожуєв Володимир
здобувач вищої освіти групи 6.G19.26 ІННІ
Запорізький національний університет, Україна
Левицька Тетяна
к.т.н., доцент
Кафедра "Математика"
Національний університет "Запорізька політехніка", Україна

Оцінка напружено-деформованого стану пружних оболонок є важливою задачею сучасної механіки, зокрема в частині аналізу динамічних процесів при змінних навантаженнях. Поряд із класичною теорією Кірхгофа–Лява та лінійними моделями типу Тимошенка, існує потреба в уточнених підходах. У роботі запропоновано математичну модель НДС вісесиметричної оболонки з початковими геометричними недосконалостями (малими прогинами), яка враховує зсувні деформації, інерцію обертання та нелінійні ефекти. Нелінійне деформування систем із недосконалостями досліджено В. С. Ґудрамовичем [1], а проблеми складених нелінійних конструкцій висвітлено в [2,3].

Розглянуто напівнескінчену кругову циліндричну оболонку товщиною h. Вісь Ox спрямовано вздовж твірної серединної поверхні оболонки, початок координат розташовано на торці оболонки. Нехай серединна поверхня оболонки має малий початковий прогин $\tilde{v}_0(x,y)$. Для вісесиметричної задачі повний прогин визначається як $v=\tilde{v}_0+\tilde{v}_1$, де $\tilde{v}_1$ — додатковий пружний (динамічний) прогин. При цьому у виразах для деформацій коригуються тільки компоненти, викликані динамічним переміщенням, а компоненти тензора напружень визначаємо із закону Гука. Компоненти переміщень в оболонці подамо у вигляді:

$$\begin{cases}\tilde{u}(x,y,t)=u(x,t)+(y-\dfrac{h^2}{12R})\psi(x,t)\\ \tilde{v}(x,y,t)=v_1(x,t)+v_0(x,0)\end{cases} \quad (1)$$

де $u(x,t)$ і $v(x,t)$ — функції, що відповідають переміщенням серединної циліндричної поверхні, $\psi(x,t)$ — кут повороту нормалі до серединної поверхні, R — радіус серединної поверхні.

В такому випадку система кінематичних співвідношень теорії оболонок для компонент деформації запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} e_{xx} = \dfrac{\partial u}{\partial x} + (y - \dfrac{h^2}{12R})\dfrac{\partial \psi}{\partial x} + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial (v_1)}{\partial x}\right)^2 + \dfrac{\partial v_0}{\partial x}\cdot\dfrac{\partial v_1}{\partial x} \\ e_{\varphi\varphi} = \dfrac{v_1}{R+y} + \dfrac{v_1^2}{2(R+y)^2} \\ e_{xy} = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial v_1}{\partial x} + \dfrac{1}{2}\psi \end{cases} \quad (2)$$

Застосовуючи закон Гука, запишемо систему для компонентів тензора напруження ($\sigma_{yy} = 0$, як завжди для тонких оболонок):

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \rho c_2^2\left[\dfrac{\partial u}{\partial x} + (y - \dfrac{h^2}{12R})\dfrac{\partial \psi}{\partial x} + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial v_1}{\partial x}\right)^2 + \dfrac{\partial v_0}{\partial x}\cdot\dfrac{\partial v_1}{\partial x}\right] + +\rho c_2^2 \nu\left[\dfrac{v_1}{R+y} + \dfrac{v_1^2}{2(R+y)^2}\right] \\ \sigma_{\varphi\varphi} = \rho c_2^2 \nu\left[\dfrac{\partial u}{\partial x} + (y - \dfrac{h^2}{12R})\dfrac{\partial \psi}{\partial x} + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial v_1}{\partial x}\right)^2 + \dfrac{\partial v_0}{\partial x}\cdot\dfrac{\partial v_1}{\partial x}\right] + \rho c_2^2\left[\dfrac{v_1}{R+y} + \dfrac{v_1^2}{2(R+y)^2}\right], \\ \tau = \rho c_1^2\left(\dfrac{\partial v_1}{\partial x} + \psi\right) \end{cases} \quad (3)$$

де $c_2^2 = \dfrac{E}{\rho(1-\nu^2)}$, $c_1^2 = \dfrac{E}{2\rho(1+\nu)}$, ρ - густина оболонки, E — модуль Юнга, ν — коефіцієнт Пуасона.

Для розглянутої задачі будемо мати наступне рівняння для кінетичної енергії оболонки:

$$K = \pi\rho\int_0^{\infty}\left[\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 Rh + \frac{h^3}{12}R\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)^2 - \frac{h^5}{144R}\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)^2 + Rh\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)^2\right]dx, \quad (4)$$

та рівняння для потенційної енергії деформації:

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\int_{-h/2}^{h/2}\left[\sigma_{xx}e_{xx} + \sigma_{\varphi\varphi}e_{\varphi\varphi} + 2\tau e_{xy}\right](R+y)dydxd\varphi, \quad (5)$$

Рівняння руху оболонки одержимо за допомогою варіаційного принципу Гамільтона — Остроградського, після підстави в нього виразів (4), (5) та з урахуванням незалежності варіацій функцій. У результаті отримаємо систему рівнянь, які описують вісесиметричний рух циліндричної оболонки з початковим прогином. Після розкладання в цих рівняннях коефіцієнтів за степенями h/R і унаслідок урахування в розкладі тільки старших членів одержуємо наступні рівняння типу Тимошенка:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c_2^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c_2^2\frac{\nu}{R}\cdot\frac{\partial v_1}{\partial x} + c_2^2\frac{\partial v_1}{\partial x}\cdot\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2} + \frac{c_2^2\cdot\nu}{R^2}v_1\frac{\partial v_1}{\partial x} + c_2^2\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2}\cdot\frac{\partial v_1}{\partial x} + c_2^2\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2}\cdot\frac{\partial v_0}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = c_2^2\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \left(\frac{c_2^2\nu}{R^2} + \frac{c_1^2k^2\cdot 12}{h^2}\right)\frac{\partial v_1}{\partial x} - \frac{12c_1^2}{h^2}k^2\psi - \frac{c_2^2\nu}{R^3}\cdot v_1\frac{\partial v_1}{\partial x}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 v_1}{\partial t^2} = c_1^2k^2\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2} + c_1^2k^2\frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{c_1^2}{R^2}v_1 - \frac{c_2^2\nu}{R}\cdot\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{c_2^2\nu}{2R}\left(\frac{\partial v_1}{\partial x}\right)^2 +$$

$$+\frac{2c_2^2\nu}{R}v_1\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2}-\frac{3c_2^2}{2R^3}v_1^2-\frac{c_2^2\nu}{R}\cdot\frac{\partial v_0}{\partial x},$$

Далі знаходимо розв'язки цієї системи за допомогою характеристичних рівнянь [4-6]. Припускалося, що початкові умови є нульовими, а механічний вплив на оболонку моделювався наданням швидкості частинок на її торці у вигляді: $U_0=\bar{t}e^{1-\bar{t}}$. Отримані результати приведено на рис.1 та рис.2, на графіках, подано розподіли швидкостей у різні моменти часу: $\bar{t}=2.5$ (графік 1), $\bar{t}=4$ (графік 2), $\bar{t}=5.5$ (графік 3), а малий початковий прогин обчислювався за формулою: $\overline{v_0}(\bar{x})=0.01\cdot\left(\bar{x}^2-6\bar{x}+8\right)$ *при* $x\in[2;4]$,. $\overline{v_0}(\bar{x})=0$ *при* $x\notin[2;4]$.

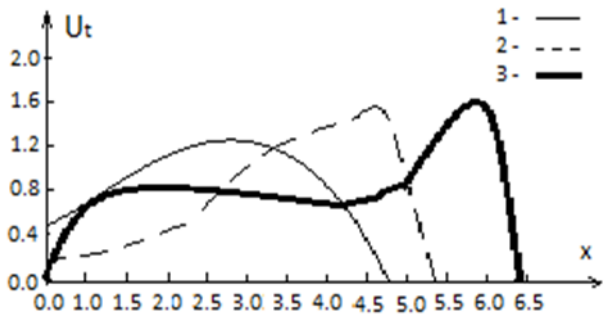

Рис.1 Зміщення вздовж твірної оболонки

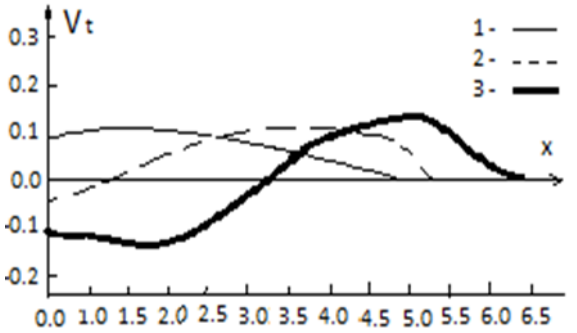

Рис.2 Зміщення за нормаллю до оболонки

Отримані результати можуть бути використані при розрахунках на міцність і стійкість тонкостінних елементів конструкцій авіаційної, ракетно-космічної та машинобудівної галузей, що зазнають імпульсних чи динамічних навантажень за наявності технологічних відхилень форми.

Список використаних джерел

1. Hudramovich, V. S. (2006). Features of nonlinear deformation of shell systems with geometric imperfections. International Applied Mechanics, 42(7), 803–834.
2. Levitskaya, T. I., & Pozhuyeva, I. S. (2015). Research loaded shells of revolution supported by ribs of different shapes. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering, 2015(2), 104–107.
3. Mastinovsky, Y. V., Danilchenko, D. V., & Pozhueva, I. S. (2008). Nelineinoe deformirovanie sostavnoi tsilindricheskoi obolochki [Nonlinear deformation of a composite cylindrical shell]. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering, 2008(2), 98–101.
4. Polyanin, A. D. (2002). Handbook of linear partial differential equations for engineers and scientists. Chapman & Hall/CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420035322
5. Polyanin, A. D., Zaitsev, V. F., & Moussiaux, A. (2002). Handbook of first order partial differential equations. Taylor & Francis / CRC Press. https://doi.org/10.1201/b16828
6. Sarra, S. (2003). The method of characteristics with applications to conservation laws. Journal of Online Mathematics and Its Applications, 3, Article 100.

Section: Tourism and Hotel and Restaurant Business

DIGITAL REVENUE MANAGEMENT AS A TOOL FOR ENHANCING THE SOCIO-ECONOMIC EFFICIENCY OF HOTEL-AND-RESTAURANT COMPLEXES

Nemchenko Yevhenii
Postgraduate Student
Kyiv University of Culture, Ukraine

Abstract. This paper examines digital revenue management (RM), including dynamic pricing, demand disaggregation, and price-elasticity modelling, as a determinant of the socio-economic efficiency of hotel-and-restaurant complexes (HRC), extending the author's previously proposed Socio-Economic Efficiency Index (SEEI) framework with a dedicated revenue-management efficiency dimension. Using public Ukrainian sectoral statistics for 2024-2026 rather than primary survey data, the study shows that hotel-industry revenue and municipal tourist-tax receipts have grown considerably faster than occupancy and taxed hotel-nights, and that direct and social-media booking channels have displaced online travel agencies as the dominant distribution route. These patterns are interpreted through the international revenue-management literature, which demonstrates that demand-disaggregation pricing models can raise hotel revenue by around 6% even without additional demand, and that price-elasticity-based dynamic pricing improves occupancy-forecasting accuracy. The findings indicate that Ukrainian HRC enterprises able to adopt digital RM tools are structurally better positioned to convert volatile wartime demand into revenue than enterprises relying on static pricing, and that financing constraints, rather than technical complexity alone, are the primary barrier to RM adoption among smaller Ukrainian hospitality enterprises. Practical recommendations are formulated for enterprise-level RM investment prioritisation and for recovery-financing programmes.

Keywords: revenue management; dynamic pricing; digital transformation; hotel-and-restaurant complex; socio-economic efficiency; hospitality industry; wartime economy; Ukraine.

Introduction.

Ukraine's hotel-and-restaurant complex (HRC) has operated under martial law since February 2022, facing extreme demand volatility driven by security conditions, population displacement, and recurring energy-infrastructure disruption. Under such volatility, an enterprise's ability to convert available demand into revenue depends not only on physical occupancy but on how effectively it prices and distributes its inventory in real time. Revenue management (RM), the discipline of applying dynamic, demand-responsive pricing and distribution strategies, has long been recognised in international hospitality research as a central determinant of financial performance, and its digitalisation, through revenue management systems (RMS), automated pricing

engines, and machine-learning demand forecasting, has accelerated sharply over the past five years.

The author's dissertation research has previously proposed a Socio-Economic Efficiency Index (SEEI) for assessing the performance of Ukrainian HRC enterprises, and a related Digital Maturity Index (DMI) extended with an infrastructure-resilience dimension to account for wartime operating conditions. That prior work established, using public Ukrainian statistics, that hotel-industry revenue and tourist-tax receipts have grown considerably faster than occupancy and taxed hotel-nights over 2022-2026, and that booking-channel structure has shifted decisively toward direct and social-media channels. However, that analysis treated revenue management as one of several digital domains without examining, in dedicated depth, the specific pricing and demand-forecasting mechanisms through which digitalisation translates into the observed revenue-occupancy divergence. The present paper addresses this gap by applying the international revenue-management literature specifically to the Ukrainian case, in order to identify which RM mechanisms, dynamic pricing, demand disaggregation, or price-elasticity modelling, are most consistent with the sector's observed statistical performance, and to formulate a dedicated revenue-management efficiency dimension for the SEEI framework.

Aim and objectives of the study.

The aim of this study is to determine how digital revenue management functions as a determinant of the socio-economic efficiency of Ukrainian hotel-and-restaurant complexes, and to extend the author's SEEI framework with a dedicated revenue-management efficiency dimension.

The objectives are: (1) to systematise the international literature on digital revenue management, dynamic pricing, and demand-elasticity modelling in hospitality; (2) to characterise Ukrainian HRC revenue, tax, and booking-channel statistics for 2024-2026; (3) to interpret the observed statistical patterns through the mechanisms identified in the revenue-management literature; (4) to identify the principal barriers to RM adoption among Ukrainian hospitality enterprises; and (5) to formulate practical recommendations for enterprise-level RM investment and for recovery-financing policy.

Results and discussion.

International research on hotel revenue management has developed a well-established body of pricing and forecasting methods. Bandalouski et al. (2021), disaggregating hotel demand into categories and applying a mathematical programming model for dynamic price optimisation, demonstrated in computer experiments on real hotel data that revenue could be increased by approximately 6% on average compared with a fixed-price policy, and explicitly proposed their approach as a tool for small hotels recovering from crisis conditions. Zhu et al. (2022) extended demand modelling further by explicitly estimating the price elasticity of occupancy, showing that occupancy-prediction accuracy in dynamic pricing improves substantially when elasticity is modelled as a dynamic, multi-factor coefficient rather

than assumed constant, a finding directly relevant to a wartime demand environment in which elasticity itself is likely to shift with security conditions.

These pricing-side mechanisms are complemented by adoption-side findings. Nikopoulou et al. (2023), using a technology-organisation-environment framework validated on 502 hoteliers, found that digital maturity, financial-resource availability, and government regulation jointly predict hotels' intention to adopt digital technology, including RM tools, and that firms affected by an external shock adopt faster, not slower. Bento (2024) showed that crisis-period financial sustainability depends specifically on shifting from static, demand-based pricing toward dynamic, value-based pricing supported by digital tools. At the same time, Hu et al. (2024) demonstrated that digital transformation can either exacerbate or mitigate the mismatch between a firm's investment needs and its available financing, indicating that RM-system adoption, which typically requires upfront software and integration costs, is constrained less by technical complexity than by financing access, a constraint likely to bind more tightly on smaller Ukrainian hospitality enterprises operating under wartime capital restrictions.

Applied to Ukraine, these mechanisms provide a direct interpretation of previously documented sectoral statistics. In 2025, Ukrainian hotel-industry revenue reached UAH 53.3 billion, with related tax receipts exceeding UAH 4.4 billion, while municipal tourist-tax receipts grew by 52% for full-year 2025 compared with 2021, the last pre-invasion year (RBC-Ukraine, 2025; Censor.net, 2025; NV Business, 2025). Over the same period, hotel-nights subject to the tax grew only from 9.4 million to 10 million, an increase of roughly 6% (Censor.net, 2025). This divergence between single-digit volume growth and double-digit-to-several-fold revenue growth is consistent with exactly the mechanism identified by Bandalouski et al. (2021): a demand-disaggregation, dynamic-pricing approach can raise revenue by a comparable single-digit-to-low-double-digit margin without any change in underlying demand, and doing so repeatedly across a full pricing cycle compounds into the much larger revenue gap actually observed.

Table 1. Ukrainian hotel-sector revenue and fiscal indicators interpreted through revenue-management mechanisms, 2021-2025

Indicator	Value	Consistent RM mechanism
Hotel-industry revenue, 2025	UAH 53.3 billion	Dynamic, value-based pricing (Bento, 2024)
Tourist-tax receipts, full-year 2025 vs 2021	+52%	Demand-disaggregation pricing gains (Bandalouski et al., 2021)
Hotel-nights subject to tourist tax, 2021→2025	9.4m → 10m (+6%)	Volume-independent revenue growth
Share of tax paid by formal hotels (vs micro-hosts)	55% (was 62%)	Digital transaction registration

Source: compiled by the author based on RBC-Ukraine (2025), Censor.net (2025), NV Business (2025), and the cited revenue-management literature.

The distribution side of revenue management shows a parallel pattern. For the 2025/2026 winter season, direct website bookings rose to 25-30% of total bookings, the share of online travel agencies fell to 10-20%, and social-media and chatbot-driven channels reached up to 60% of bookings, while the average booking window lengthened from 7-14 days to 21-35 days (NV Business, 2026). A longer booking window is itself consistent with more sophisticated demand forecasting: Zhu et al. (2022) note that occupancy-prediction models depend on sufficiently long observation windows to estimate elasticity reliably, and enterprises capturing bookings 21-35 days in advance are structurally better positioned to apply demand-responsive pricing across the full booking curve than enterprises relying on short-window, last-minute OTA demand.

Table 2. Booking-channel structure and its revenue-management implications, 2025/2026 season

Channel / indicator	2025/2026 season	RM implication
Direct website bookings	25-30%	Full pricing control, no OTA rate parity constraints
Online travel agencies	10-20%	Limited price flexibility, commission erosion
Social media / chat-bots	up to 60%	Real-time, negotiated or dynamic offers
Average booking window	21-35 days	Longer forecasting horizon for elasticity modelling

Source: compiled by the author based on Ribas Hotels Group research, cited in NV Business (2026).

Two further points follow from this synthesis. First, the regional divergence documented in the author's prior work, national occupancy of approximately 25-26% against 85-95% in Carpathian resort destinations, cannot be explained by pricing sophistication alone; RM tools optimise the conversion of available demand into revenue but cannot generate demand where security conditions suppress it. This confirms that revenue-management efficiency should be treated as complementary to, rather than a substitute for, the infrastructure-resilience dimension proposed in the author's DMI framework. Second, the financing-constraint mechanism identified by Hu et al. (2024) suggests that the observed formalisation trend, the declining share of tourist-tax receipts paid by large, formally registered hotels relative to smaller private accommodation providers, may itself reflect uneven RM-system adoption: larger, better-capitalised hotels can absorb RMS licensing and integration costs and thus capture disproportionate revenue gains per available room, while smaller enterprises remain reliant on static pricing even as they formalise their transaction reporting.

These findings support extending the SEEI framework with a dedicated revenue-management efficiency dimension, distinct from the framework's existing occupancy, distribution, and infrastructure-resilience dimensions, and measured, at enterprise

level, through indicators such as the share of bookings processed through dynamic rather than fixed pricing, the length of the effective booking-and-pricing horizon, and the presence or absence of an integrated RMS. For practice, Ukrainian hospitality enterprises, particularly smaller and independent properties, should prioritise low-cost or cloud-based dynamic-pricing tools over static rate sheets even where a full RMS is not affordable, since the disaggregation-based gains demonstrated by Bandalouski et al. (2021) do not require large-scale infrastructure. For policy, recovery-financing programmes should consider co-financing RMS adoption specifically for smaller HRC enterprises, addressing the financing-constraint barrier identified by Hu et al. (2024) rather than assuming that technical training alone is sufficient.

Table 3. Synthesis of revenue-management mechanisms against Ukrainian statistical evidence

RM mechanism (literature)	Ukrainian statistical evidence	SEEI implication
Demand-disaggregation dynamic pricing, ~6% revenue gain (Bandalouski et al., 2021)	Tax receipts +52% vs nights +6% (2021-2025)	Revenue-management efficiency dimension
Elasticity-based occupancy forecasting improves with longer booking windows (Zhu et al., 2022)	Booking window lengthened from 7-14 to 21-35 days	Forecasting-horizon indicator
Digital maturity and financial resources jointly predict RM adoption (Nikopoulou et al., 2023)	Formal-hotel tax share fell 62%→ 55% as micro-hosts digitise	Enterprise-size-dependent adoption gap
Financing, not complexity, is the binding constraint on RM adoption (Hu et al., 2024)	Regional occupancy divergence (25-26% national vs 85-95% Carpathians)	Case for targeted RMS co-financing

Source: developed by the author, synthesising Tables 1-2 with the reviewed revenue-management literature.

This synthesis indicates that the revenue-management efficiency dimension proposed for the SEEI framework should be operationalised through indicators that are already, in principle, observable in enterprise accounting and booking-system data: the share of room-nights sold under dynamic rather than fixed rates, the average length of the effective booking-and-pricing horizon, and the presence of an integrated RMS or dynamic-pricing plugin connected to the property's channel manager. Unlike the infrastructure-resilience indicators proposed in the author's prior work, which depend on capital investment in physical redundancy, these revenue-management indicators are comparatively low-cost to establish, which strengthens the case for prioritising them in near-term enterprise digitalisation planning even where infrastructure investment remains constrained by security conditions or financing availability.

Conclusions.

This study examined digital revenue management as a determinant of the socio-economic efficiency of Ukraine's hotel-and-restaurant complex, extending the author's SEEI framework with a dedicated revenue-management dimension. The divergence between Ukraine's hotel-revenue growth and its much slower occupancy growth over 2021-2025 is consistent with the demand-disaggregation and dynamic-pricing mechanisms documented in the international revenue-management literature, while the observed shift toward direct and social-media booking channels with longer booking windows reflects the forecasting conditions under which elasticity-based pricing performs best. Financing constraints, rather than technical complexity, appear to be the principal barrier limiting revenue-management adoption among smaller Ukrainian hospitality enterprises. Enterprise-level and policy recommendations follow directly from this analysis, prioritising low-cost dynamic-pricing tools for smaller properties and targeted co-financing of RMS adoption within recovery-support programmes. Future research should test the proposed revenue-management efficiency dimension against enterprise-level pricing data, ideally comparing the realised revenue performance of Ukrainian HRC enterprises with and without digital RM tools under comparable demand conditions.

References

1. Bandalouski, A. M., Egorova, N. G., Kovalyov, M. Y., Pesch, E., & Tarim, S. A. (2021). Dynamic pricing with demand disaggregation for hotel revenue management. Journal of Heuristics, 27(5), 869-885.
2. Bento, C. (2024). Factors influencing hotel revenue management in times of crisis: Towards financial sustainability. International Journal of Financial Studies, 12(4), Article 112.
3. Censor.net. (2025). Tourist fee in Ukraine grew by 52% compared to the period before the full-scale war. Censor.net. Available at: https://censor.net/biz/news/4004460/turystychnyyi-zbir-v-ukrayini-torik-zris-na-52-porivnyano-z-2021-rokom (accessed September 21, 2026).
4. Hu, B., Fan, S., & Zhang, K. (2024). Does digital transformation exacerbate or mitigate maturity mismatch in hospitality and tourism firms? International Journal of Hospitality Management, 123, Article 103915.
5. Koval, O., & Katyukha, D. (2025). Strategies for adapting the hospitality business during martial law and post-war recovery in Ukraine. Social Development: Economic and Legal Issues.
6. Nikopoulou, M., Kourouthanassis, P., Chasapi, G., Pateli, A., & Mylonas, N. (2023). Determinants of digital transformation in the hospitality industry: Technological, organizational, and environmental drivers. Sustainability, 15(3), Article 2736.
7. NV Business. (2025, September 10). Small business catches up with large hotels: What is happening with tourism in Ukraine. NV Business. Available at:

https://biz.nv.ua/ukr/sviy-biznes/vnutrishniy-turizm-2025-rekordni-nadhodzhennya-i-zrostannya-prozorosti-zboriv-50543815.html (accessed September 21, 2026).
8. NV Business. (2026, January 1). No room to spare in the Carpathians: How loaded are Ukrainian hotels this winter season. NV Business. Available at: https://biz.nv.ua/ukr/consmarket/trendi-gotelnogo-rinku-ukrajini-popit-na-apart-goteli-privatnist-i-rannye-bronyuvannya-u-2026-50572505.html (accessed September 21, 2026).
9. Peng, X., Zhu, J., Lee, S., Zhou, D., Song, W., & Ying, T. (2024). Digital transformation in the hospitality industry: A bibliometric review from 2000 to 2023. International Journal of Hospitality Management, 120, Article 103761.
10. RBC-Ukraine. (2025). Hotels in Ukraine: What is happening with prices and profits. RBC-Ukraine. Available at: https://www.rbc.ua/rus/news/dohodi-goteliv-ukrayini-zrosli-vsemero-viynu-1779961062.html (accessed September 21, 2026).
11. Zhu, F., Xiao, W., Yu, Y., Wang, Z., Chen, Z., Lu, Q., Liu, Z., Wu, M., & Ni, S. (2022). Modeling price elasticity for occupancy prediction in hotel dynamic pricing. In Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management (CIKM '22) (pp. 4742-4746). ACM.
12. Zhuravka, F., Nebaba, N., Yudina, O., Haponenko, S., & Filatova, H. (2023). The hospitality market in Ukraine: War challenges and restoration possibilities. Innovative Marketing, 19(1), 140-150.

Proceedings of the 5th International Scientific
and Practical Conference
"Modern Scientific Research: Theoretical And Practical Aspects"
September 28-30, 2026
Riga, Latvia

Organizing committee may notagree with the authors'point of view.
Authors are responsible for the correctness of the papers' text.

Contact details of the organizing committee:
European Open Science Space
E-mail: info@eoss-conf.com
URL: https://www.eoss-conf.com/

EUROPEAN OPEN
SCIENCE SPACE