МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

МАТЕРІАЛИ VII Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації»

MATERIALS of the VII International Scientific and Practical Conference «The development of modern science and education: realities, problems of quality, innovations»

20-22 травня 2026
May 20-22, 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України
Інститут професійної освіти НАПН України
Технічний університет Дортмунда (ФРН)
Сілезька академія (Польща)
Люблінська політехніка (Польща)
Маріямпольська колегія (Литва)
ЗАТ «Національний центр ядерних досліджень» Міністерства транспорту, зв'язку
та високих технологій Азербайджанської республіки
(Азербайджанська Республіка)

РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ: РЕАЛІЇ, ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ, ІННОВАЦІЇ

МАТЕРІАЛИ

VII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

20-22 травня 2026 року

Запоріжжя – 2026

УДК [001+37+ 001.895](043)
Т13

Рекомендовано до друку Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол № 10 від 26.05.2026 р.)

Редакційна колегія:
Кюрчев С. В. – доктор технічних наук, професор;
Радкевич В. О. – доктор педагогічних наук, професор, дійсний член (академік) НАПН України;
Кюрчев В. М. – доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, член-кореспондент НААН України, Заслужений працівник освіти України;
Панченко А. І. – доктор технічних наук, професор;
Кідалов В. В. – доктор фізико-математичних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України;
Тітова О. А. – доктор педагогічних наук, професор;
Дьоміна Н. А. – кандидат технічних наук, доцент;
Дяденчук А. Ф. – кандидат технічних наук, доцент.

Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матеріали VII Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 20-22 травня 2026 р.) / ред.колегія: С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та ін. – Запоріжжя : ТДАТУ, 2026. – 498 с.

Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації» презентує результати наукових досліджень науковців, наукових співробітників, викладачів, здобувачів різних рівнів вищої освіти, вчителів з актуальних проблем гуманітарних, природничо-математичних і технічних наук. Напрямки роботи конференції: актуальні питання та проблеми фізико-математичних наук; інновації та закономірності розвитку технічних наук; перспективні напрями наукових досліджень з біосистемної агроінженерії, агротехнологій та агроекології; цифрова трансформація освіти: стан, проблеми та перспективи розвитку; використання інноваційних технологій в освітньому процесі в умовах сучасних викликів.

Відповідальність за грамотність, автентичність цитат, достовірність фактів і посилань, зміст матеріалів несуть автори публікацій. Матеріали видані в авторській редакції.

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2026

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1.
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

Микола Шут, Людмила Благодаренко, Тарас Січкар. Від навчального експерименту до наукового дослідження: освітні можливості спеціального фізичного практикуму……. 11

Людмила Благодаренко, Сергій Василенко. Квантова статистика Фермі-Дірака як важливий елемент сучасної наукової картини світу: методичний аспект …….. 17

Валентин Собчук, Єлизавета Рудик. Існування періодичних циклів у рівнянні Лієнара з імпульсними збуреннями…… 23

Олексій Капустян, Тетяна Жук, Юрій Перестюк. Асимптотична поведінка імпульсно-збуреного параболічного включення з нескінченною кількістю імпульсних компонент фазового вектору……..... 25

Віктор Сорич, Ніна Сорич. Про найкраще наближення на класах згорток, породжених складеними ядрами…… 28

Ніна Касімова, Валентина Горбач, Ірина Циганівська. Наближений розв'язок об'єкта керування для задачі оптимального керування виродженим параболічним рівнянням……..... 33

Олег Перегуда, Василь Кравець. Про задачу оптимального керування для функціонально-диференціальних рівнянь у нескінченновимірних просторах…….. 36

Вікторія Цань. Коливність слабко нелінійних рівнянь другого порядку та відповідних рівнянь на часових шкалах……... 39

Наталія Кондрат'єва, Вікторія Леонтьєва, Кирил Вітлянчук, Іван Булин, Геннадій Усатенко. Застосування математичних методів планування експерименту при розв'язанні практичних задач …… 42

Вікторія Леонтьєва, Наталія Кондрат'єва, Олександр Фоменко, Геннадій Усатенко, Гліб Грива. Застосування алгоритму нечіткого виводу Мамдані в задачах системної оптимізації ресурсів …… 54

Світлана Гембарська. Тригонометричні поперечники класів періодичних функцій $B^{\Omega}_{p,\theta}$ у просторі $B_{1,1}$…….. 64

Yevhenii Radchyn, Olga Kichmarenko. Sufficient conditions for the existence of an optimal solution to a control problem for integro-differential equation in Banach spaces……..... 66

Андрій Громик, Іван Конет, Тетяна Пилипюк. Гіперболічні крайові задачі математичної фізики в напівобмеженому кусково-однорідному клиновидному порожнистому циліндрі ……..... 70

Катерина Соліч. Наближення класів періодичних функцій багатьох мажорантою мішаних модулів неперервності у просторі L_{∞}……..... 73

Світлана Гембарська, Костянтин Жигалло, Леонід Войтюк. Апроксимативні властивості бігармонійних інтегралів Пуасона на класах функцій Гельдера……..... 76

Володимир Сєриков, Наталія Дереглазова, Вікторія Волошан, Костянтин Марштупа, Анна Сущенко, Вероніка Марштупа. Дослідження варіантів когенерації при перетворенні теплової енергії…..... 80

Дмитро Штефан, Олександр Станжицький. Збереження показників генерального росту при малих нелінійних збурень стохастичних еволюційних рівнянь…..……..... 86

Роксолана Лахва, Вікторія Могильова. Лінійна за керуванням задача оптимального керування на скінченному інтервалі та відповідна усереднена задача на півосі…… 88

Світлана Кушніренко. Апроксимація стохастичного диференціального рівняння нейтрального типу з запіненням системами рівнянь без запізнення……..... 91

Валентин Кропива, Костянтин Жигалло. Про використання символіки Ландау в задачах Колмогорова-Нікольського……... 95

Любомир Луцюк. Застосування інтегрального перетворення Ганкеля…… 98

СЕКЦІЯ 2.
ІННОВАЦІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ НАУК

Дмитро Журавель. Методологічні принципи забезпечення надійності паливних систем дизелей при роботі на біопальному……. 101

Євген Гавриленко, Олександр Мацулевич, Галина Антонова. Огляд інтегрованих систем автоматизованого проектування конструкцій і технологічних процесів різного призначення……... 107

Микола М. Ткачук, Андрій Грабовський, Микола А. Ткачук, Наталія Дьоміна, Олена Зінченко, Володимир Сєриков, Ірина Гречка. Новітні проєктно-технологічні рішення контактуючих елементів машин військового та цивільного призначення……. 123

Ніна Рашкевич. Комп'ютерне моделювання як інструмент дослідження небезпечних процесів та обґрунтування інженерних рішень…….. 129

Сергій Сімченко, Ілона Сімченко, Володимир Капінус. Дослідження оптичних та морфологічних властивостей плівок на основі нітридів металів... 135

Олександр Мацулевич, Олександр Вершков, Олена Дереза, Андрій Чаплінський, Ілля Тетервак. Застосування CASE-технологій при комп'ютерному проєктуванні технічних об'єктів систем……..……. 140

Олександр Мацулевич. Математичне забезпечення підсистем машинної графіки та геометричного моделювання ……..……..…… 153

Альона Дяденчук, Сергій Носань. Оптимізація легування та геометрії шарів у гетероструктурах для підвищення ефективності фотоперетворення……..…….. 163

Олександр Мацулевич, Олександр Вершков, Ілля Тетервак. Обробка сканованих зображень …… 169

Олександр Сіпко. Інноваційні підходи до забезпечення надійності протипожежного водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій……..... 181

Ірина Мельник. Інформаційно-аналітичний підхід до пожежної профілактики у висотних будівлях на основі даних моніторингу…….. 187

Андрій Прус. Перспективи застосування мобільних акумуляторних систем зберігання енергії……..... 191

СЕКЦІЯ 3.
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З БІОСИСТЕМНОЇ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА АГРОЕКОЛОГІЇ

Олена Дереза, Олександр Вершков, Олександр Мацулевич, Олена Михайленко, Андрій Чаплінський, Ілля Тетервак. Застосування віртуальної інженерії для автоматизованого проектування виробів..... 197

Олександр Мацулевич, Ілля Тетервак, Максим Супрун. Використання гибридного моделювання промислових дизайнерських виробів із застосуванням пакетів прикладних програм в рамках практичної підготовки фахівців з прикладної механіки……..... 213

Наталя Дьоміна, Дмитро Одновол. Математичне моделювання та оптимізація внесення азотних добрив за моделлю мітчерліха з використанням методу ньютона в MATLAB..... 219

Альона Дяденчук, Євгеній Філіпович. Моделювання вертикального переносу забруднювача в ґрунтовому профілі для задач агроекології..... 225

Дмитро Одновол, Валерій Кідалов. STEM-орієнтоване моделювання поширення токсичних викидів у MATLAB в процесі навчення фізики для підготовки фахівців з екології……..……..... 231

Дмитро Одновол. Порівняльний аналіз метаевристичних алгоритмів оптимізації маршрутів аграрної техніки в середовищі MATLAB..... 239

Максим Супрун, Ігор Лінтур. Ергономічний дизайн як ключовий фактор підвищення продуктивності та безпеки праці операторів сільськогосподарської техніки..... 245

СЕКЦІЯ 4.
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ОСВІТИ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Ірина Бужина, Олена Гусаченко. Виклики та шляхи підвищення цифрової компетентності педагогів……. 248

Микола Пригодій. Філософія постплагіату та формування відкритого простору загального знання в цифровій освіті…… 253

Світлана Цехмістренко, Олена Данченко. Цифрова трансформація викладання біохімії в аграрному університеті в умовах дистанційного та змішаного навчання……..……..... 259

Вадим Кушнір. Запобігання зловживанню та некоректному використанню технологій ШІ ……... 265

Віталій Клочко. Стратегія трансформації економічної освіти в умовах нового технологічного укладу…….. 271

Регіна Андрюкайтене, Роман Олексенко, Каріна Олексенко. Інтеграція штучного інтелекту в освітній процес: вплив на якість навчання та академічну доброчесність……. 275

Vitalii Svyrydiuk. Formation of digital competencies in future skilled workers of the construction industry to ensure energy efficiency of facilities……... 282

Валерія Павлова. Роль інформаційних технологій в розвитку цифрової компетентності майбутніх викладачів ЗВО……..……..... 286

Олександр Гуменний. Розвиток професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти в умовах цифрової трансформації освітнього середовища…… 291

Олександр Мацулевич, Максим Супрун, Ілля Тетервак. Колірні режими та моделі комп'ютерної графіки…… 297

Дмитро Закатнов. Цифровізація професійної орієнтації та консультування з кар'єри……... 312

Елла Кожевнікова, Тетяна Несторенко. Менеджмент професійного розвитку в закладах мистецької освіти в епоху цифровізації……..... 316

Олег Балабан, Альона Дяденчук. Цифрова безпека здобувачів освіти як складова розвитку цифрового освітнього середовища: результати опитування……..... 320

Світлана Дзюбенко. Гейміфікація освітнього процесу: як залучити сучасного здобувача освіти …….. 324

Іван Голуб. Технології штучного інтелекту в професійній освіті…… 329

Оксана Томчук. Створення освітнього цифрового контенту у професійній освіті……..... 332

Єрмак Андрій, Дар'я Просяна. Особливості застосування онлайн-сервісів для діагностики навчальних досягнень з інформатики ……..……. 339

Анна Мгалоблішвілі. Втрата автономії здобувачів вищої освіти в умовах алгоритмізації цифрового простору: студент як об'єкт і суб'єкт впливу…….……..... 345

СЕКЦІЯ 5.
ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

Олена Тітова. Якість освітньої діяльності як основа управління професійною підготовкою фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах……. 352

Віталій Ачкан, Надія Корнієнко. Окремі аспекти креативного мислення у навчанні математики……. 359

Маріанна Швардак, Марина Вотьканич. Застосування технології дизайн-мислення в початковій школі як засобу розвитку креативності та навичок вирішення проблем…….. 364

Маріанна Швардак, Каріна Попович. Нейропедагогічні технології як інструмент формування ключових компетентностей учнів початкової школи…… 368

Ольга Швай. Підготовка майбутніх учителів математики до конструювання прикладних задач як засобу розвитку критичного мислення учнів…… 371

Оксана Фенцик, Олеся Тиводар. Розвиток емоційного інтелекту молодших школярів засобами художнього слова (на матеріалі сучасної дитячої літератури)…….. 375

Олександр Мацулевич, Максим Супрун, Ілля Тетервак. Застосування інформаційних технологій при розробці керуючих програм створення технологічного оснащення для виготовлення дизайнерський виробів на верстатах з ЧПУ ……..…… 379

Олександр Вершков, Ольга Зінов'єва, Андрій Алексєєв. Методика вибору системи автоматизованого проектування із застосуванням системи підтримки прийняття рішень PRIMEDECISION …….. 386

Володимир Крячко. Забезпечення якості професійної освіти у Швеції в умовах сучасних викликів…… 392

Тетяна Пятничук. Формування енергоефективної компетентності у закладах освіти…….. 397

Тетяна Пятничук. Дослідження нормативних документів у формуванні енергоефективної компетентності…….. 402

Денис Жежерун. Забезпечення якості професійної освіти і підготовки у великому Герцогстві Люксембург: сучасні практики та можливості адаптації для України……... 407

Ірина Мося, Петро Лузан. Система забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах…… 411

Вікторія Купрієвич, Ольга Єршова. Модернізація професійно-практичної підготовки фахівців будівельної галузі в умовах «зеленої» відбудови України……. 419

Василь Шусть. Модель формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти у професійних коледжах аграрного спрямування……... 424

Ніна Падалко. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі вивчення змістової лінії «функції»…… 432

Ольга Зінов'єва, Віталіна Галчанська. Застосування нечітких методів багатокритеріального вибору в умовах неповної та невизначеної інформації……..... 437

Людмила Майборода. Методика організації професійно-практичної підготовки майбутніх фахівців зеленого будівництва…… 442

Віолетта Гурчонок. NO-CODE інструменти на основі штучного інтелекту як засіб оптимізації підготовки вчителя до уроку…..…….. 447

Віолетта Гурчонок. Підвищення навчальної мотивації студентів засобами NO-CODE/AI-застосунків: досвід викладання вищої математики…..…… 452

Вікторія Коротка, Геннадій Циммерман, Олена Циммерман. Можливості використання робототехніки на уроках інформатики……. 457

Олександра Правда, Геннадій Циммерман. Інноваційні формати навчання інформатики: від епізодів до системного використання…….. 465

Тарас Ткач, Ніна Падалко. Застосування інформаційно-комунікаційних технологій для ліквідації освітніх втрат з математики ……. 473

Софія Мороз, Ніна Падалко. Використання інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні математики у 5–6 класах……... 476

Анна Александрук, Ніна Падалко. Інформаційно-комунікаційні технології як засіб підвищення мотивації на уроках математики в 5 класі… 479

Ілля Данилов. Особливості організації навчального процесу в закладах вищої освіти Швеції……. 482

Єгор Боденчук-Пастухов. Інноваційні технології як засіб розвитку компетентностей високого рівня у здобувачів вищої ІТ-освіти…….. 486

Анна Шекмар. Застосування штучного інтелекту для персоналізації навчання української мови молодших школярів……... 490

Аліна Шкурина. Розвиток інклюзивної освіти в контексті воєнного стану……... 493

УХВАЛА КОНФЕРЕНЦІЇ ……. 496

СЕКЦІЯ 1.
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

УДК 378.016:53

Микола Шут**,** академік НАПН України,
доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,
Людмила Благодаренко**,** доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,
Тарас Січкар**,** кандидат фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,
Український державний університет імені Михайла Драгоманова,
м. Київ, Україна

ВІД НАВЧАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДО НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ: ОСВІТНІ МОЖЛИВОСТІ СПЕЦІАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ПРАКТИКУМУ

Анотація. У тезах розглядається проблема трансформації лабораторії спеціального фізичного практикуму в сучасне дослідницьке середовище для підготовки майбутніх фізиків-науковців. Обґрунтовується необхідність поєднання навчальної та наукової діяльності студентів в умовах зниження рівня експериментальної складової фізичної освіти у закладах вищої освіти. Визначено основні принципи створення методичного забезпечення спеціального фізичного практикуму, орієнтованого на самостійну дослідницьку діяльність студентів та формування культури наукового пошуку.

Ключові слова: фізична освіта, спеціальний фізичний практикум, дослідницька діяльність студентів, методичне забезпечення.

Abstract. The thesis examines the problem of transforming the laboratory of a special physical practicum into a modern research environment for the training of future physicists and researchers. The necessity of combining educational and scientific activities of students under conditions of declining experimental components in higher physical education is substantiated. The main principles for developing methodological support for a special physical practicum focused on independent research activity and the formation of students' scientific inquiry culture are determined. Particular attention is

paid to the possibilities of organizing student research in the field of polymer nanocomposites and materials with predetermined properties.

Keywords: physics education, special physical practicum, research activity of students, methodological support.

Сьогодні система університетської фізичної освіти перебуває у складному й суперечливому стані. З одного боку, суспільство потребує фахівців, здатних працювати на межі сучасної науки, створювати нові технології, досліджувати властивості матеріалів та моделювати складні фізичні процеси. З іншого – у багатьох закладах вищої освіти спостерігається поступове згортання експериментальної бази фізичних кафедр: скорочуються навчальні години, об’єднуються лабораторії, втрачається унікальне обладнання та руйнуються наукові школи. У таких умовах особливої ваги набуває проблема збереження дослідницької складової фізичної освіти. Фізика як наука не може існувати виключно у формі теоретичних конструкцій або цифрових презентацій. Її сутність полягає у поєднанні теоретичного осмислення природи з експериментальним пізнанням реальності. Саме тому одним із ключових напрямків модернізації підготовки майбутніх фізиків має стати створення лабораторій спеціального фізичного практикуму – своєрідних моделей сучасних науково-дослідних лабораторій, у яких студенти не лише освоюють стандартні дослідницькі дії, а й долучаються до справжньої наукової діяльності.

Такі лабораторії повинні принципово відрізнятися від традиційного навчального практикуму. Їх головна мета полягає у формуванні дослідницького стилю мислення, уміння ставити наукову проблему, планувати експеримент, аналізувати результати та робити самостійні висновки. У цьому контексті спеціальний фізичний практикум стає не просто навчальною дисципліною, а простором наукового становлення майбутнього дослідника [1].

Особливого значення набуває облаштування таких лабораторій. Вони мають поєднувати класичне фізичне обладнання із сучасними цифровими технологіями

збору та обробки даних. Доцільним є створення модульної структури лабораторії, де окремі секції можуть бути присвячені різним напрямкам сучасної фізики: фізиці твердого тіла, нанофізиці, оптиці, електроніці, фізиці полімерів, магнітним явищам, комп'ютерному моделюванню. Важливо, щоб студенти мали можливість працювати не лише з демонстраційними установками, але й з реальними дослідницькими комплексами – спектрометрами, цифровими осцилографами, вакуумними системами, лазерними установками, датчиками температури, магнітного поля та інших фізичних параметрів. Перспективним напрямком діяльності таких лабораторій є дослідження полімерних нанокомпозитів та створення полімерних матеріалів із наперед заданими властивостями. Сучасна фізика матеріалів дедалі більше орієнтується на конструювання речовини на мікро- та нанорівнях, коли зміна структури матеріалу дозволяє отримувати принципово нові механічні, електричні, магнітні чи оптичні характеристики. У межах студентських досліджень можуть вивчатися процеси модифікації полімерних систем наночастинками металів, феритів, графенових структур або вуглецевих нанотрубок. Зокрема, напрямками досліджень можуть бути такі, як вивчення електропровідності полімерних нанокомпозитів; аналіз впливу температури на структуру та фізичні характеристики полімерів; створення композитів із керованими оптичними властивостями; дослідження релаксаційних процесів у полімерних матеріалах; вивчення впливу нанонаповнювачів на механічну міцність полімерів; моделювання процесів структуроутворення у нанокомпозитах.

Надзвичайно важливим є організаційний аспект функціонування лабораторій спеціального фізичного практикуму. Вони повинні працювати у тісному зв'язку з науковими установами, академічними інститутами та високотехнологічними підприємствами. Саме інтеграція університетської науки з реальною дослідницькою практикою здатна сформувати у студентів відчуття причетності до сучасної науки та усвідомлення значущості фізики для технологічного розвитку держави. Фактично лабораторія спеціального фізичного

практикуму повинна стати середовищем, у якому студент переходить від ролі пасивного виконавця навчальних інструкцій до ролі молодого дослідника. У цьому полягає її головна педагогічна та світоглядна цінність. Саме тому збереження та розвиток лабораторій спеціального фізичного практикуму сьогодні є не просто освітнім завданням, а стратегічною умовою збереження наукового потенціалу держави [2].

Особливої уваги вимагає розроблення методичних матеріалів для лабораторії спеціального фізичного практикуму. Такі матеріали повинні створюватися на принципово інших засадах, ніж традиційні інструкції до навчальних лабораторних робіт. Якщо у класичному практикумі головною метою є підтвердження вже відомих фізичних закономірностей, то у спеціальному фізичному практикумі студент має наближатися до реальної наукової діяльності, де результат дослідження не є наперед очевидним. Саме тому методичний супровід повинен не лише навчати техніці експерименту, але й формувати дослідницький стиль мислення, культуру наукового пошуку та готовність до самостійної роботи. Отже, у ході розроблення методичних матеріалів для роботи студентів у лабораторії спеціального фізичного практикуму необхідно дотримуватися важливих дидактичних принципів.

Першим фундаментальним принципом має бути принцип дослідницької спрямованості. Методичні матеріали повинні орієнтувати студента не на механічне виконання алгоритму, а на розуміння фізичної проблеми, постановку гіпотези та аналіз отриманих результатів. У таких матеріалах доцільно уникати надмірно детальних покрокових інструкцій, які фактично перетворюють студента на виконавця вказівок. Натомість необхідно створювати ситуації наукового пошуку, коли студент самостійно обирає параметри експерименту, визначає оптимальні режими вимірювань та аналізує причини можливих відхилень. Другим важливим принципом є принцип проблемності. Методичні матеріали повинні починатися не лише з формулювання теми роботи, а з окреслення наукової проблеми або

сучасного технологічного виклику. Тоді експеримент перестає бути формальною процедурою і набуває реального наукового змісту. Важливим є також принцип відкритості результату. У традиційних лабораторних роботах студент зазвичай знає, який результат він має отримати. У дослідницькому практикумі ситуація повинна бути іншою: результат може бути неоднозначним, залежати від багатьох факторів або навіть суперечити попереднім припущенням. Саме це наближає навчальний експеримент до реальної науки. Методичні матеріали мають передбачати можливість порівняння різних моделей, інтерпретацій та підходів до пояснення явищ. Особливе значення має принцип інтеграції теорії та експерименту. Студент повинен не просто виконувати вимірювання, а розуміти фізичну природу процесів, які досліджуються. Тому методичні матеріали повинні містити короткі, але концептуально глибокі теоретичні блоки, які пояснюють сучасний стан проблеми, фізичні механізми явищ та можливості їх практичного застосування. Так, у роботах, присвячених полімерним матеріалам, доцільно розглядати не лише класичні фізичні закономірності, але й елементи фізики конденсованого стану, нанофізики та матеріалознавства. Ще одним важливим принципом є принцип самостійності та варіативності. Методичні матеріали повинні містити елементи індивідуалізації дослідження: різні варіанти зразків, альтернативні методики вимірювання, можливість самостійного вибору способів обробки даних. Доцільно пропонувати студентам мініпроєкти, у межах яких вони можуть модифікувати експеримент або проводити серії власних досліджень. Суттєвого значення набуває принцип міждисциплінарності. Сучасні наукові дослідження, особливо у галузі полімерних нанокомпозитів, перебувають на межі фізики, хімії, матеріалознавства, електроніки та інформаційних технологій. Тому методичні матеріали повинні демонструвати студентам взаємозв’язок різних наук і формувати цілісне бачення сучасної наукової картини світу. Водночас методичний супровід повинен реалізовувати принцип поступового входження у науку. На початкових етапах студентам можна пропонувати частково керовані

дослідження з детальнішими рекомендаціями, а згодом переходити до більш відкритих форм роботи, де викладач виконує роль наукового консультанта, а не спостерігача за виконанням інструкцій.

Таким чином, методичні матеріали для спеціального фізичного практикуму повинні виконувати значно ширшу функцію, ніж традиційна навчальна інструкція. Вони мають бути інструментом формування молодого дослідника як людини, здатної не лише відтворювати відомі знання, але й створювати нові. Саме у цьому полягає їх головна педагогічна, наукова та світоглядна цінність.

Отже, проблема організації дослідницької діяльності студентів у лабораторії спеціального фізичного практикуму сьогодні є вкрай актуальною і має значний потенціал для фахової дискусії, особливо в контексті поєднання наукового, методичного та світоглядного вимірів підготовки майбутніх фізиків. Саме у таких лабораторіях у студентів формується дослідницька культура та усвідомлення провідної ролі експериментального методу у фізиці.

Список використаних джерел

1. Шут М. І., Благодаренко Л. Ю., Січкар Т. Г. Забезпечення фундаментальної і прикладної інноваційно-дослідницької спрямованості освітнього процесу з фізики в педагогічних університетах. *Збірник наукових праць Камя'янець-Подільського національного університету імені Іваана Огієнка*. *Серія педагогічна*. 2021.Вип. 27. С. 53-55.
2. Шут Микола, Благодаренко Людмила, Січкар Тарас. Інноваційний потенціал наукових досліджень на базі педагогічних університетів в освітньому процесі з фізики. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія : Педагогічні наук.* 2021.Вип. 2. С. 350-357.

УДК 378.016:53

Людмила Благодаренко**,** доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,
Сергій Василенко, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,
Український державний університет імені Михайла Драгоманова,
м. Київ, Україна

КВАНТОВА СТАТИСТИКА ФЕРМІ-ДІРАКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ НАУКОВОЇ КАРТИНИ СВІТУ: МЕТОДИЧНИЙ АСПЕКТ

Анотація. У тезах розглянуто методичну схему вивчення квантової статистики Фермі-Дірака у процесі підготовки студентів фізичних спеціальностей. Акцентовано увагу на необхідності подолання формального засвоєння матеріалу шляхом поєднання проблемного навчання та дослідницької діяльності студентів. Показано значення фізичної інтерпретації принципу Паулі, рівня Фермі та функції розподілу для формування цілісного розуміння закономірностей мікросвіту. Обґрунтовано доцільність використання міждисциплінарних зв'язків і сучасних технологічних застосувань квантової статистики для підвищення мотивації студентів до вивчення квантової фізики.

Ключові слова: квантова фізика, квантова статистика Фермі-Дірака, методична схема, проблемне навчання.

Abstract. The theses consider a methodological framework for studying Fermi–Dirac quantum statistics in the training of physics students. Particular attention is paid to overcoming the formal assimilation of the material through the integration of problem-based learning, and students' research activities. The importance of the physical interpretation of the Pauli exclusion principle, the Fermi level, and the distribution function for forming a holistic understanding of the microworld laws is demonstrated. The expediency of using interdisciplinary connections and modern technological applications of quantum statistics to increase students' motivation for studying quantum physics is substantiated.

Keywords: quantum physics, Fermi–Dirac quantum statistics, methodological scheme, problem-based learning.

Як показує практичний досвід, значні ускладнення виникають у студентів у ході засвоєння поняття про квантові статистики. Тому нами запропоновано методичну схему викладання питання «Квантова статистика Фермі–Дірака».

Вивчення квантової статистики повинно ґрунтуватися не лише на математичному формалізмі, але й на поступовому формуванні у студентів уявлення про фундаментальну роль статистичних закономірностей у мікросвіті. Основна методична проблема полягає в тому, що студенти часто сприймають статистику Фермі-Дірака як набір формул, не усвідомлюючи її фізичного змісту та світоглядного значення. Тому викладання доцільно будувати за принципом переходу:

від класичних уявлень → до кризи класичної фізики → до необхідності квантового опису → до фізичного змісту ферміонної статистики → до сучасних застосувань.

Першим етапом цієї схеми є мотиваційно-проблемний. На початку доцільно створити інтелектуальну проблему, яка демонструє неспроможність класичної статистики пояснити властивості мікросистем і зробити такі методичні акценти: порівняння поведінки класичних частинок та мікрочастинок; обговорення питань, які стосуються станів електронів в атомах; аналіз фізичних явищ, які неможливо пояснити в класичній фізиці (електронна структура атома; електропровідність металів, виродження електронного газу). На цьому етапі важливо сформувати у студентів усвідомлення того, що статистика у квантовій фізиці не є не наслідком неможливості визначення стану частинок, а відображає фундаментальну властивість мікросвіту. Перед введенням статистики Фермі-Дірака необхідно пригадати хвильові властивості частинок речовини, принцип невизначеностей Гайзенберга, поняття квантового стану, поняття про дискретність енергетичних рівнів, принцип Паулі. Особливо важливо показати логічний зв’язок між принципом Паулі та статистикою Фермі-Дірака. Доцільно підкреслити, що сама форма розподілу є математичним відображенням заборони перебування двох однакових ферміонів в одному квантовому стані.

На етапі уведення поняття про квантову статистику Фермі-Дірака доцільно уникати надмірної математизації. Основний акцент потрібно зробити на залежності

заселеності рівнів від температури та понятті рівня Фермі. Особливу увагу слід приділити поняттю енергії Фермі як межі заповнення електронних станів при абсолютному нулі температур.

Важливою є інформації про фізичні застосування статистики Фермі-Дірака. Саме цей етап є визначальним для подолання формального сприйняття теми. Необхідно розглянути такі приклади: 1. Електронний газ у металах (природа електропровідності, виродження електронного газу). 2. Напівпровідники (концентрація носієв заряду, положення рівня Фермі, температурна залежність провідності). 3. Астрофізика (білі карлики, нейтронні зорі, тиск виродженого газу). 4. Сучасні технології (транзистори, мікроелектроніка, квантові комп'ютери; нанофізика). Саме зв'язок із сучасними технологіями дозволяє студентам усвідомити, що квантова статистика є не абстрактною теорією, а основою сучасної світобудови. Доцільно також провести порівняння різних статистик, а саме: статистики Максвелла-Больцмана; статистики Фермі-Дірака; статистики Бозе-Ейнштейна. Це формує системність знань та допомагає студентам побачити межі застосування різних статистичних моделей.

Важливим є узагальнювально-світоглядний етап. На завершення важливо вийти за межі формул і показати філософське значення теми. Студенти повинні усвідомити: мікросвіт має принципово інші закономірності, ніж макросвіт; індивідуальність квантових станів визначає структуру матерії; принцип Паулі фактично забезпечує стабільність речовини та існування складних матеріальних систем. Саме при цьому квантова статистика перестає сприйматися абстрактне питання і стає елементом наукової картини світу.

Основними методичними особливостями вивчення теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» є такі:

1. *Проблемність навчання*. Навчальний матеріал потрібно подавати через фізичні суперечності та проблемні ситуації, а не через готові формули. Важливо

пам’ятати, що математичний апарат не повинен домінувати над фізичною інтерпретацією.

2. *Візуалізація абстрактних понять.* Необхідно активно використовувати графіки функції розподілу, енергетичні діаграми, моделі заповнення станів, комп’ютерні симуляції.

3. *Міждисциплінарність*. Потрібно демонструвати зв’язки з фізикою твердого тіла, астрофізикою, електронікою, нанотехнологіями, інформатикою.

4. *Дослідницька спрямованість*. Доцільно пропонувати студентам робити аналіз реальних фізичних систем, моделювати розподіли, виконувати мініпроєкти.

5. *Світоглядна орієнтація.* Викладання квантових статистик повинно формувати сучасне наукове мислення, розуміння ймовірнісного характеру мікросвіту, усвідомлення єдності фундаментальної науки і технологічного прогресу. Після вивчення теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» доцільно запропонувати студентам виконання мініпроєкту. Актуальність проєктної діяльності на цьому етапі освітнього процесу зумовлена тим, що квантова статистика Фермі-Дірака є фундаментом сучасного розуміння будови речовини, електронних властивостей металів і напівпровідників, астрофізичних об’єктів та принципів функціонування мікроелектроніки. Проте студенти часто сприймають її лише як складний математичний апарат без усвідомлення її фундаментальної ролі у розвитку науки і технологій.

Проєктна діяльність дозволяє поєднати теоретичні знання з реальними фізичними явищами, сформувати системне бачення мікросвіту, показати зв’язок квантової фізики з сучасними технологіями, розвивати дослідницьке та критичне мислення студентів. Метою проекту є формування у студентів цілісного розуміння фізичного змісту статистики Фермі-Дірака, її світоглядного значення та практичного застосування у сучасній фізиці й техніці.

Визначимо основні завдання проекту.

Теоретичні: дослідити передумови виникнення квантових статистик; проаналізувати фізичний зміст принципу Паулі; з'ясувати особливості ферміонів; дослідити функцію розподілу Фермі-Дірака.

Практичні: проаналізувати застосування статистики Фермі-Дірака у фізиці твердого тіла; дослідити роль рівня Фермі у напівпровідниках; встановити значення ферміонної статистики для сучасної електроніки.

Світоглядні: усвідомити роль квантових закономірностей у побудові сучасної наукової картини світу; показати значення фундаментальної науки для технологічного розвитку суспільства.

Навчальний проєкт з теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» дозволяє перетворити складну і абстрактну для студентів тему з розділу квантової фізики на змістовний інтелектуальний простір дослідження сучасної науки. Такий підхід сприяє не лише засвоєнню теоретичного матеріалу, але й формуванню у студентів наукового світогляду і дослідницького мислення, а також усвідомленню ними фундаментальної ролі квантової фізики у розвитку сучасної цивілізації.

Отже, методична схема викладання теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» повинна бути спрямована не стільки на механічне засвоєння формул, скільки на формування у студентів цілісного розуміння фізики мікросвіту. Лише за умови поєднання проблемного навчання, фізичної інтерпретації, міждисциплінарних зв'язків і сучасних технологічних застосувань студенти зможуть усвідомити фундаментальність квантових статистик та їх визначальну роль у розвитку сучасної науки і техніки.

Список використаних джерел

1. Благодаренко Людмила, Василенко Сергій. Формування елементів операційно-методичної компетентності майбутніх учителів фізики у ході фахової підготовки. *Збірник наукових праць Кам'янець Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка*. 2025. Вип. 31: «Становлення

майбутнього вчителя в умовах цифрової трансформації природничо-наукової освіти». С.107-112.
2. Благодаренко Л. Ю., Василенко С. Л. Модель організації освітнього процесу при вивченні сучасних проблем квантової фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* 2022. Вип. 28. С. 46-49.

УДК 517.9

Валентин Собчук, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь,
Єлизавета Рудик, здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти кафедри інтегральних
та диференціальних рівнянь,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна

ІСНУВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ ЦИКЛІВ У РІВНЯННІ ЛІЄНАРА З ІМПУЛЬСНИМИ ЗБУРЕННЯМИ

Анотація. Досліджується рівняння Лієнара з імпульсною дією. Встановлено умови існування $T(n)$-періодичних розв'язків, коли фазова траєкторія зазнає рівно n імпульсних дій протягом періоду. Показано, що точки, які визначають періодичні цикли, задаються дробово-поліноміальними співвідношеннями спеціального вигляду.

Ключові слова: рівняння Лієнара; імпульсна дія; періодичні розв'язки; граничний цикл.

Abstract. A Liénard equation with impulsive action is investigated. Conditions for the existence of $T(n)$-periodic solutions are established under which the phase trajectory undergoes exactly $n$impulsive actions within one period. It is shown that the points defining periodic cycles are described by fractional-polynomial relations of a special form.

Keywords: Liénard equation; impulsive action; periodic solutions; limit cycle.

Досліджується динамічна система, рух у якій описується диференціальним рівнянням Лієнара вигляду:

$$\ddot{x} + f(x)\dot{x} + g(x) = 0, \qquad (1)$$

($x \in \mathcal{D} \subset \mathbb{R}^3$, $\mathcal{D}$ −фазовий простір системи (1), $t \in \mathbb{R}$ −час) і яка зазнає впливу імпульсних сил, які визначаються деяким оператором $\mathcal{A}_t$, що у моменти проходження рухомою точкою певного фіксованого положення $x = x_*$ діє згідно з правилом $(x,\ t) \to (t,\ \mathcal{A}_t x)$.

Якщо t_* деякий момент часу, в який рухома точка досягає положення $x = x_*$, коли відбувається імпульсна дія, то імпульсні збурення рухомої точки записують [1]:

$$\Delta \frac{dx}{dt}\Big|_{x=x_*} = \frac{dx}{dt}\Big|_{t=t_*+0} - \frac{dx}{dt}\Big|_{t=t_*-0} = \mathcal{A}_t x - x = I(\dot{x}). \qquad (2)$$

Опис фізичної інтерпретації рівняння Лієнара та характеристика його фазового портрету детально вивчено в [2]. Встановлено, що диференціальне рівняння (1) з імпульсною дією (2), коли коли функція імпульсної дії має вигляд:

$$I(\dot{x}) = \begin{cases} (\lambda - 1)\dot{x} - \lambda \dot{x}_*, & \dot{x} \geq 0, \\ -(\lambda + 1)\dot{x} - \lambda \dot{x}_*, & \dot{x} < 0, \end{cases} \qquad (3)$$

де $\dot{x}_*$, при $1 \leq \lambda \leq |\min G(x)|$, $G(x) = \int_0^s g(s)ds$, має $T(n)$–періодичні розв'язки такі, що фазова точка даної системи при русі вздовж відповідної траєкторії зазнає рівно n імпульсних дій за період, де $n \in \mathbb{N}$. При чому точки дії імпульсних сил, що відповідають $T(n)$–періодичним розв'язкам слід шукати серед дробів вигляду

$$\dot{x} = \frac{\mathcal{P}^n(\lambda)}{1 \pm \lambda^n} \dot{x}_*,$$

де $\mathcal{P}^n(\lambda)$ – многочлен, вигляду

$$\mathcal{P}^n(\lambda) = a_n \lambda^n + a_{n-1}\lambda^{n-1} + \cdots + a_2 \lambda^2 + \lambda, \qquad a_j = \pm 1, \qquad j = \overline{2, n}.$$

Встановлено вигляд точок, що визначають періодичний цикл періоду n на проміжку $(1, |\min G(x)|]$ коли фазова точка при русі фазовою траєкторією рівняння (1) зазнає імпульсної дії (3) рівно n разів за період.

Список використаних джерел

1. Samoilenko A. M. and Perestyuk N.A. Impulsive Differential Equations. Vol. 14, World Scientific, Singapore, 1995. 472 p. https://doi.org/10.1142/2892
2. Самойленко В. Г., Собчук В. В. Періодичні розв'язки рівняння Льєнара з імпульсною дією. *Нелінійні коливання*. 2000. Т. 3, № 2. С. 256 – 265.

УДК 517.9

Олексій Капустян, доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь,
Тетяна Жук, здобувачка третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти кафедри інтегральних
та диференціальних рівнянь,
Юрій Перестюк, кандидат фізико-математичних наук,
науковий співробітник
кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

АСИМПТОТИЧНА ПОВЕДІНКА ІМПУЛЬСНО-ЗБУРЕНОГО ПАРАБОЛІЧНОГО ВКЛЮЧЕННЯ З НЕСКІНЧЕННОЮ КІЛЬКІСТЮ ІМПУЛЬСНИХ КОМПОНЕНТ ФАЗОВОГО ВЕКТОРУ

Анотація. У роботі вивчаються умови стійкості рівномірних атракторів імпульсних параболічних включень.

Ключові слова: параболічне включення, імпульсне збурення, стійкість

Abstract. The paper studies the stability conditions of uniform attractors of impulsive parabolic inclusions.

Keywords: parabolic inclusion, impulsive perturbation, stability

В загальній теорії диференціальних рівнянь з імпульсною дією [1] важливе місце посідають імпульсні динамічні системи (імпульсні ДС), тобто автономні системи диференціальних рівнянь, траєкторії яких зазнають імпульсного збурення при досягненні фіксованих гіперповерхонь в фазовому просторі X. Для нескінченновимірних систем ($\dim X = \infty$) за умови дисипативності особливий інтерес становить вивчення траєкторій в околі компактних рівномірно притягуючих множин - рівномірних атракторів [2]. Вивченню умов стійкості таких множин і присвячена дана робота. А саме, в обмеженій області $\Omega \subset \mathbb{R}^d, d \geq 1$ відносно невідомої функції $u = u(t, x),\ t > 0,\ x \in \Omega$ розглядається задача

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} - Au \in \varepsilon F(u) \\ u|_{\partial\Omega} = 0 \\ u|_{t=0} = u_0, \end{cases} \qquad (1)$$

де A – рівномірно еліптичний коерцитивний диференціальний оператор, $\varepsilon > 0$ – малий параметр, F – напівнеперервне зверху обмежене багатозначне відображення. Відомо, що в фазовому просторі $\mathrm{X} = L^2(\Omega)$ для $\forall u_0 \in \mathrm{X}$ задача (1) має принаймні один слабкий розв'язок $\mathrm{u} \in \mathrm{C}([0, +\infty); X)$.

Імпульсна задача полягає в знаходженні неперервної справа функції $t \mapsto u(t)$, яка має стрибки величини $\varphi(u)$ в моменти досягнення нею множини

$$M = \{u \in \mathrm{X} \mid ||u|| = R\},$$

тобто

$$\Delta \mathrm{u}|_{u \in \mathrm{M}} \in \varphi(u) - u \qquad (2)$$

Зазначимо, що згідно (2) імпульсних збурень зазнають всі компоненти нескінченновимірного фазового вектору.

При певних умовах на A, F, φ, R можна показати, що для достатньо малих ε задача (1), (2) породжує многозначну імпульсну ДС [3] G, що має рівномірний атрактор Θ, тобто Θ є мінімальною компактною множиною, що задовольняє властивість:

$$\forall r > 0 \quad \sup_{||u_0|| \le r} dist(G(t, u_0), \Theta) \to 0, \qquad t \to \infty.$$

При цьому, як показано в [2,3], Θ може не бути стійкою в класичному сенсі. Виходячи з підходу, запропонованого в [2], в даній роботі доведено стійкість Θ в сенсі наступної властивості

$$D^+(\Theta \backslash M) \subset \overline{\Theta \backslash M},$$

де $\bar{A}$ – це замикання A,

$$D^+(A) = \bigcup_{x \in A} \{y | y = \lim_{x_n \to x,\, t_n \ge 0} \xi_n,\ \xi_n \in G(t_n, x_n)\}$$

Ключову роль при доведенні цього результату відіграє аналіз функції, що кожному початковому даному ставить у відповідність момент першого попадання траєкторії параболічного включення (1) на множину M. При цьому слід відзначити, що запропонований в роботі підхід є конструктивним в тому сенсі, що дозволяє аналізувати згадану функцію за допомогою властивостей неімпульсної задачі.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проект 2023.03/0074 «Нескінченновимірні еволюційні рівняння із багатозначною та стохастичною динамікою»

Список використаних джерел

1. Samoilenko A. M., and Perestyuk N. A. Impulsive differential equations. World Scientific, Singapore, 1995.
2. Kapustyan O., Perestyuk M., Romanchuk I. Stability of the global atractors of impulsive infinite-dimentional systems. *Ukr. Math. J*. 2018. V. 70(1). P. 29-30.
3. Dashkovskiy S., Kapustyan O., and Perestyuk Y. Stability of uniform attractors of impulsive multi-valued semiflows. *Nonlinear Analisys: Hybrid Systems*. 2021. V. 40. P. 101025.

УДК 517.5

Віктор Сорич, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри математики,
Ніна Сорич, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,
м. Кам'янець-Подільський, Україна

ПРО НАЙКРАЩЕ НАБЛИЖЕННЯ НА КЛАСАХ ЗГОРТОК, ПОРОДЖЕНИХ СКЛАДЕНИМИ ЯДРАМИ

Анотація. Запропоновано до розгляду нові достатні умови для лінійних комбінацій парних (непарних) ядер, виконання яких дозволить обчислити точні значення величин найкращих наближень функцій із класів згорток, породжених цими комбінаціями парних або непарних функцій.

Ключові слова: найкраще наближення лінійної комбінації ядер, класи Степанця, умова Надя $\mathrm{N}_{\mathrm{n}}^{*}$ $\left(\mathrm{N}_{\mathrm{n,p}}^{*}\right)$.

Abstract. New sufficient conditions for linear combinations off even (odd) kernels are proposed for consideration, the fulfillment of which allow calculating the exact values of the best approximations of functions from the classes of convolutions generated by these combinations of even or odd functions.

Keywords: best approximation of linear combination of kernels, Stepanets classes, Nagy's condition $\mathrm{N}_{\mathrm{n}}^{*}$ $\left(\mathrm{N}_{\mathrm{n,p}}^{*}\right)$.

Вступ. Результати повідомлення стосуються запроваджених О.І. Степанцем (див., напр. [3]) класів $L_{\overline{\beta}}^{\psi}\mathfrak{R}\left(C_{\overline{\beta}}^{\psi}\mathfrak{R}\right)$ та їх лінійних комбінацій. Зазначимо, усі відомі до цього часу значення величин найкращих наближень на класах $L_{\overline{\beta}}^{\psi}\mathfrak{R}\left(C_{\overline{\beta}}^{\psi}\mathfrak{R}\right)$, де $\mathfrak{R} \equiv U_1^0 = \{\varphi \in L: \|\varphi\|_1 \leq 1, \varphi \perp 1\}$, $(\mathfrak{R} \equiv U_\infty^0 = \{\varphi \in L: \|\varphi\|_\infty \leq 1, \varphi \perp 1\})$, були знайдені для множин функцій що записуються у вигляді згорток, які задовольняють умову Нікольського A_n^*, або ж більш жорстку, умову Надя N_n^*. Умови A_n^*, та N_n^* (див., напр. [2]) можна означити так:

Означення 1. Говорять, що сумовна 2π – періодична функція $\mathrm{K}(t)$, яка тотожно не дорівнює нулю, задовольняє умову A_n^*, $\mathrm{n} \in \mathrm{N}$, $(K \in A_n^*)$, якщо існують

тригонометричний поліном $T_{n-1}^{*}(\cdot)$ степеня n -1 і довільне число $\lambda \leq \frac{\pi}{n}$ таке, що для функції $\varphi_{*}(t) =$ sign $\left(K(t) - T_{n-1}^{*}(t)\right)$ майже при всіх t виконується рівність $\varphi_{*}(t + \lambda) = - \varphi_{*}(t)$.

Означення 2. Говорять, що сумовна 2π – періодична функція $\mathrm{K}(t)$, яка тотожно не дорівнює нулю, задовольняє умову N_{n}^{*}, n ϵ N ($K \epsilon N_{n}^{*}$), якщо існують тригонометричний поліном $T_{n-1}^{*}(\cdot)$ степеня n -1 і точка $\xi = \xi_{n} \epsilon \left[0, \frac{\pi}{n}\right]$ такі, що вираз $\mathrm{K}(t) - T_{n-1}^{*}(t)$ змінює знак на проміжку $[0; 2\pi[$ в точках $t_{k} = \xi + \frac{k\pi}{n}$, k = 0,1, …, 2n-1, і тільки в них.

Завдяки функції Крейна в багатьох випадках нескладно побудувати тригонометричний многочлен, який співпадає з ядром $\mathrm{K}(t)$ в 2n рівномірно розташованих на періоді точках. Складнішим питанням є доведення того факту, що більше точок співпадання полінома $T_{n-1}^{*}(t)$ та ядра $\mathrm{K}(t)$ на періоді не існує. Власне, всі роботи в даному напрямі присвячені розв′язанню цього питання. Разом зі сказаним існують такі ядра, для яких многочлен $T_{n-1}^{*}(t)$ та ядро $\mathrm{K}(t)$ рівні між собою більше аніж в 2n точках на періоді. Тому в роботі пропонується до розгляду така властивість ядер $\mathrm{K}(t)$.

Означення 3. Сумовна 2π – періодична функція $\mathrm{K}(t)$, яка тотожно не дорівнює нулю, задовольняє умову $N_{n,p}^{*}$, n ϵ N, p = 0,1, …, $\left(K \epsilon N_{n,p}^{*}\right)$, якщо існують тригонометричний поліном $T_{n-1}^{*}(t)$ степеня n – 1 і точка $\xi = \xi_{n} \epsilon \left[0, \frac{\pi}{n+p}\right[$ такі, що різниця $\mathrm{K}(t) - T_{n-1}^{*}(t)$ змінює знак на $[0,2\pi[$ у точках $t_{k} = \xi + \frac{k\pi}{n+p}$, k = 0,1, …, 2n + 2p -1, і лише в них.

Зрозуміло, що ядро, яке задовольняє умову $N_{n,p}^{*}$, буде задовольняти умову Надя N_{n+p}^{*} при наближенні тригонометричним поліномом $T_{n-1}^{*}(t)$ степеня n – 1.

2. Постановка задачі. Нехай $\mathrm{K}(t)$ – сумовна 2π – періодична функція, $\mathfrak{M}_{c}(\mathfrak{M}_{L})$ – клас згорток елементів φ одиничної кулі $U_{\infty}^{0}(U_{1}^{0})$ з ядром $\mathrm{K}(t)$.

Відомо, що у випадку виконання умови A_n^* для ядра згортки $\mathrm{K}(t)$ мають місце рівності (див., напр. [2, §6])

$$E_n(\mathfrak{M}_c)_C = \sup_{f \in \mathfrak{M}_c} \inf_{T_{n-1}} \|f(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_C = \sup_{\varphi \in U_\infty^0} \inf_{T_{n-1}} \|\varphi * \mathrm{K}(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_C =$$

$$= E_n(\mathfrak{M}_L)_1 = \sup_{f \in \mathfrak{M}_L} \inf_{T_{n-1}} \|f(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_L = \sup_{\varphi \in U_1^0} \inf_{T_{n-1}} \|\varphi * \mathrm{K}(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_L =$$

$$= \frac{1}{\pi} E_n(K)_1 \,. \qquad (1)$$

Б. Надєм в [1] знайдені достатні умови N_n^* того, що многочлен $T_{n-1}^*(t)$ забезпечує найкраще наближення ядра $\mathrm{K}(t)$, яке є парною або непарною функцією, в метриці L. Із роботи [3] випливає, що сума ядер з цими умовами також буде ядром, що задовольняє умову N_n^*. Цікавою є задача відшукання величини найкращого наближення в метриці L лінійної комбінації непарних (парних) ядер, або ж принаймні різниці двох таких ядер.

3. Основні результати. Нехай $\psi_i(k)$, i = $\overline{1,m}$, - деякі послідовності дійсних чисел і $\Psi_i^c(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_i(k) cos kt$, $\Psi_i^s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \psi_i(k) sin kt$, $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$. Розглянемо ядра вигляду $K_C(t, \bar{\alpha}) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \Psi_i^c(t)$, $K_S(t, \bar{\alpha}) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \Psi_i^s(t)$.

Справедливі твердження

Теорема 1. Нехай сумовні функції $\Psi_i^c(t)$ $(i = \overline{1,m})$ неперервні на проміжку $(0; 2\pi)$, ядро $K_{\mathrm{C}}(t, \bar{\alpha})$ інтерполюється тригонометричним многочленом порядку не вище n – 1 на періоді не більше як в 2n +2 точках, многочлен $T_{n-1}^*(t)$ – інтерполює функцію $K_{\mathrm{C}}(t, \bar{\alpha})$ в нулях $\cos nt$, $\Delta_n^*(t, \bar{\alpha}) = K_C(t, \bar{\alpha}) - T_{n-1}^*(t)$. Якщо $\operatorname{sign} \Delta_n^*(0 + 0, \bar{\alpha}) \cdot sign\, \Delta_n^*(\pi, \bar{\alpha}) = (-1)^n$, то ядро $K_C(t, \bar{\alpha})$ задовольняє умову Надя N_n^*.

Теорема 2. Нехай сумовні функції $\Psi_i^c(t)$ неперервні на проміжку $(0; 2\pi)$, ядро $K_S(t, \bar{\alpha})$ інтерполюється тригонометричним многочленом порядку не вище n – 1 на періоді не більше як в 2n + 1 точці, многочлен $T_{n-1}^*(t)$ – інтерполює функцію $K_S(t, \bar{\alpha})$ в нулях $\sin nt$, $\Delta_n^*(t, \bar{\alpha}) = K_S(t, \bar{\alpha}) - T_{n-1}^*(t)$. Якщо $\operatorname{sign} \Delta_n^*(0 + 0, \bar{\alpha}) \cdot sign\, \Delta_n^*(\pi - 0, \bar{\alpha}) = (-1)^{n-1}$, то ядро $K_S(t, \bar{\alpha})$ задовольняє умову Надя N_n^*.

Отже, до ядер із T_1 та T_2 можемо застосовувати рівності (1).

Наслідок 1. Якщо ядро $K_C(t,\bar{\alpha})$ задовольняє умови теореми 1, то

$$E_n(\mathfrak{M}_c)_C = \sup_{f\in \mathfrak{M}_c} \inf_{T_{n-1}} \|f(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_C = E_n(\mathfrak{M}_L)_1 = \sup_{f\in \mathfrak{M}_L} \inf_{T_{n-1}} \|f(\cdot) - T_{n-1}(\cdot)\|_1 = \frac{1}{\pi} E_n(K_C(t,\bar{\alpha}))_1 = \frac{4}{\pi}\left|\sum_{i=1}^{m}\alpha_i \sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^k \psi_i[(2k+1)n]}{2k+1}\right|.$$

Якщо ж ядро $K_S(t,\bar{\alpha})$ задовольняє умови теореми 2, то

$$E_n(\mathfrak{M}_c)_C = E_n(\mathfrak{M}_L)_1 = \frac{1}{\pi} E_n(K_S(t,\bar{\alpha}))_1 = \frac{4}{\pi}\left|\sum_{i=1}^{m}\alpha_i \sum_{k=1}^{\infty}\frac{\psi_i[(2k+1)n]}{2k+1}\right|.$$

Цікавими є випадки лінійних комбінацій $K(t,\bar{\alpha})$, при яких різниця $\Delta_n^*(t,\bar{\alpha})$ перетворюється в нуль у 2n + 2 точках на періоді при $K_C(t,\bar{\alpha})$ парній функції, та у 2n + 1 точці на проміжку $(0;2\pi)$, якщо $K_S(t,\bar{\alpha})$ – непарна функція і при цьому інтерполюючий многочлен має порядок не вище за n-1. Виявляється, що у випадку виконання протилежної умови до твердження T_1, а саме, $\operatorname{sign}\Delta_n^*(0+0,\bar{\alpha}) \cdot \operatorname{sign} \Delta_n^*(\pi,\bar{\alpha}) = (-1)^{n+1}$, відповідно до твердження T_2 – $\operatorname{sign} \Delta_n^*(0+0,\bar{\alpha}) \cdot \operatorname{sign} \Delta_n^*(\pi-0,\bar{\alpha}) = (-1)^n$, умова Надя N_n^* для ядра $K(t,\bar{\alpha})$ виконуватися не буде, проте матиме місце умова $N_{n,1}^*$. Справедлива

Теорема 3. Нехай сумовні функції $\Psi_i^c(t)$ неперервні на проміжку $(0;2\pi)$. Якщо ядро $K_C(t,\bar{\alpha})$ інтерполюється тригонометричним многочленом $T_{n-1}(t)$ на періоді не більше як в $(2n+2)$ –х точках, то при кожному n ϵ N існують числа $\alpha_i^* = \alpha_i^*(n)$, i = $\overline{1,m}$, та тригонометричний многочлен $T_{n-1}^*(t)$ такі, що $\operatorname{sign}\Delta_n^*(0+0,\overline{\alpha^*}) \cdot \operatorname{sign}\Delta_n^*(\pi,\overline{\alpha^*}) = (-1)^{n+1}$, а ядро $K_C(t,\bar{\alpha})$ задовольняє умову $N_{n,1}^*$.

Аналогічно, можемо переконатися в справедливості наступного твердження.

Теорема 4. Нехай сумовні функції $\Psi_i^s(t)$ неперервні на проміжку $(0;2\pi)$. Якщо ядро $K_S(t,\bar{\alpha})$ інтерполюється тригонометричним многочленом $T_{n-1}(t)$ на проміжку $(0;2\pi)$ не більше як в 2n + 1точці, то при кожному n ϵ N існують числа $\alpha_i^* = \alpha_i^*(n)$, i = $\overline{1,m}$, та тригонометричний многочлен $T_{n-1}^*(t)$ такі, що $\operatorname{sign}\Delta_n^*(0+0,\overline{\alpha^*}) \cdot \operatorname{sign}\Delta_n^*(\pi-0,\overline{\alpha^*}) = (-1)^n$і при цьому ядро $K_S(t,\overline{\alpha^*})$ задовольняє умову $N_{n,1}^*$.

Наслідок 2. Якщо ядро $K_S(t,\bar{\alpha})$ із теореми 3 задовольняє умову $N^*_{n,1}$, то при кожному n ϵ N для класу $\mathfrak{M}_c(\mathfrak{M}_L)$ – згорток із цим ядром справедлива рівність

$$E_n(\mathfrak{M}_c)_C = E_n(\mathfrak{M}_L)_1 = \frac{4}{\pi}\left|\sum_{i=1}^{m}\alpha_i^*\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\psi_i[(2k+1)(n+1)]}{2k+1}\right|.$$

Якщо ядро $K_S(t,\overline{\alpha^*})$ із теореми 4 задовольняє умову $N^*_{n,1}$, то при кожному n ϵ N

$$E_n(\mathfrak{M}_c)_C = E_n(\mathfrak{M}_L)_1 = \frac{4}{\pi}\left|\sum_{i=1}^{m}\alpha_i^*\sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^k\psi_i[(2k+1)(n+1)]}{2k+1}\right|.$$

Якщо лінійна комбінація $K_C(t,\bar{\alpha})$ $(K_S(t,\bar{\alpha}))$ містить два доданки, а коефіцієнти вектора $\bar{\alpha}$ вибрати у вигляді $\bar{\alpha} = (1,\alpha)$, то значення α^*, при якому ядро задовольняє умову $N^*_{n,1}$, єдине. Якщо число доданків m більше двох, вказана властивість може місця не мати.

4. Висновки. Одержано достатні умови для лінійних комбінацій парних, а також непарних ядер, для яких виконується “узагальнена“ умова Надя $N^*_{n,1}$. При виконанні цих умов обчислено точне значення найкращих наближень класів періодичних функцій, що задаються за допомогою згорток з такими твірними ядрами, в метриках просторів неперервних та інтегровних фукцій.

Список використаних джерел

1. Nagy B., Über gewisse Extremalfragen bei transformierten trigonometrischen Entwicklungen I. Periodischer Fall, Berichte der math.- phys. Kl. Akad. der Wiss. zu Leipzig, 90, 103 -134 (1938).
2. Сердюк А., Сорич В., Сорич Н. Найкраще наближення тригонометричними поліномами класів згорток, породжених деякими лінійними комбінаціями періодичних ядер. *Укр. мат. журн*. 2025. Т. 77, № 5. С. 249 – 363.
3. Stepanets A.I. Methods of Approximaton Theory. Kiev: Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2002. Part I. 427 p.

УДК 517.958 + 519.685

Ніна Касімова, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь,
Валентина Горбач, здобувачка третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти кафедри інтегральних
та диференціальних рівнянь,
Ірина Циганівська, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри алгебри і комп'ютерної математики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна

НАБЛИЖЕНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОДЖЕНИМ ПАРАБОЛІЧНИМ РІВНЯННЯМ

Анотація. У роботі розглядається задача оптимального керування для нелінійного виродженого параболічного рівняння монотонного типу. Дослідження проводиться у вагових просторах для ваг Макенгаупта та загальних вироджених ваг. Метод Гальоркіна використовується для обґрунтування існування слабкого розв'язку та як основа для побудови наближених розв'язків і чисельної симуляції.

Ключові слова: оптимальне керування, вироджене параболічне рівняння, вагові простори, метод Гальоркіна, чисельна симуляція.

Abstract. The paper considers an optimal control problem for a nonlinear degenerate parabolic equation of monotone type. The study is carried out in weighted spaces for Muckenhoupt weights and general degenerate weights. The Galerkin method is used to justify the existence of a weak solution and as a basis for constructing approximate solutions and numerical simulations.

Keywords: optimal control, degenerate parabolic equation, weighted spaces, Galerkin method, numerical simulation.

Розглядається задача оптимального керування у правій частині для нелінійного виродженого параболічного рівняння монотонного типу. Керування є розподіленою функцією $u = u(t,x)$, яка входить у праву частину рівняння стану.

Нехай $\Omega \subset R^N$ — обмежена область з ліпшицевою межею, $T > 0$, $Q=(0,T) \times \Omega$, $\Sigma =(0, T) \times \partial\Omega$, $2 \le p < +\infty$, $q = p/(p - 1)$. Нехай

$$\rho > 0 \text{ м. с. в } \Omega, \qquad \rho,\ \rho^{-1/(p-1)} \in L^1_{loc}(\Omega). \tag{1}$$

Розглянемо ваговий простір *W(Ω, ρdx)* з нормою

$$\|v\|_p = \left(\int_\Omega |v|^p\,dx + \int_\Omega p(x)|\nabla v|^p\,dx\right)^{\frac{1}{p}}, \qquad (2)$$

а через *H(Ω, ρ dx)* позначимо замикання $C_0^\infty(\Omega)$ за нормою (2). У загальному виродженому випадку може мати місце

$$H(\Omega, \rho\,dx) \neq W(\Omega, \rho\,dx), \qquad (3)$$

що пов'язано з ефектом Лаврентьєва.

Об'єкт керування має вигляд

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} - div\left(p(x)|\nabla y|^{p-2}\nabla_y\right) + |y|^{p-2}y = f + u, & (t,x) \in Q, \\ y = 0, & (t,x) \in \Sigma, \\ y(0,x) = y^0(x), & x \in \Omega. \end{cases} \qquad (4)$$

Тут *y = y(t, x)* — стан системи, а *u = u(t, x)* — керування.

Нехай множина допустимих керувань $U_{ad} \subset L^q(Q)$ є непорожньою, опуклою, замкненою та обмеженою. Наприклад, можна брати

$$U_{ad} = \{u \in L^q(Q): u_a(t, x) \leq u(t, x) \leq u_b(t, x) \text{ м. с. в } Q\}. \qquad (5)$$

Функціонал якості задається співвідношеннням

$$J(u,y) = \frac{1}{p}\int_Q |y - y_d|^p\,dx\,dt + \frac{\alpha}{q}\int_Q |u|^q\,dx\,dt \to inf. \qquad (6)$$

Отже, задача оптимального керування полягає у знаходженні пари (u^0, y^0) такої, що

$$u^0 \in U_{ad}, \quad y^0 = y(u^0), \quad J(u^0, y^0) = \inf_{u \in U_{ad}} J(u,y(u)). \qquad (7)$$

Можна розглядати два випадки для вагової функції.

Випадок 1. Ваги Макенгаупта. Нехай $\rho \in A_p$, тобто

$$[\rho]_{A_p} = \sup_B \left(\frac{1}{|B|}\int_B \rho(x)\,dx\right)\left(\frac{1}{|B|}\int_B \rho(x)^{-\frac{1}{\rho-1}}\,dx\right)^{\rho-1} < +\infty. \qquad (8)$$

У цьому випадку вагові простори мають кращі властивості щільності, вкладень та компактності. Тому побудова слабкого розв'язку задачі (4) і наближеного розв'язку є технічно простішою.

Випадок 2. Загальні вироджені ваги. Нехай ρ задовольняє (1). У цьому випадку ми чітко вказуємо, що фазовим вважаємо простір $H(\Omega,\rho dx)$ і працюємо саме з H-розв'язками, оскільки може виникати ефект Лаврентьєва (3).

Для кожного фіксованого $u \in Uad$ у обох випадках існування слабкого розв'язку об'єкта керування (4) обґрунтовується методом Гальоркіна. Задача оптимального керування (7) досліджується прямим методом варіаційного числення. Метод Гальоркіна також дає природну основу для чисельної симуляції об'єкта керування. У випадку ваг Макенгаупта така апроксимація реалізується у більш регулярному функціональному середовищі. Для загальних вироджених ваг виникає додатковий виклик: при чисельній симуляції потрібно апроксимувати не лише стан y та керування u, але й саму вагу ρ за допомогою невироджених наближень. Тому наближені задачі повинні узгоджуватися з граничною H-постановкою.

УДК 517.929

Олег Перегуда, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри загальної математики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна
Василь Кравець, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ПРО ЗАДАЧУ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У НЕСКІНЧЕННОВИМІРНИХ ПРОСТОРАХ

Анотація. Вивчається задача оптимального керування функціонально-диференціальним рівнянням параболічного типу в банаховому просторі, шляхом його заміни апрксимаційною системою параболічних рівняннь без запізнення.

Ключові слова: напівгрупа, слабка збіжність, мінімізатор, м’який розв’язок, оптимальне керування, апроксимаційна система.

Abstract. The problem of optimal control for a functional-differential equation of parabolic type in a Banach space is studied by replacing it with an approximating system of parabolic equations without delay.

Keywords: semigroup, weak convergence, minimizer, mild solution, optimal control, approximating system.

Розглядається задача оптимального керування для нескінченновимірного функціонально-диференціальне рівняння в банаховому просторі:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + f_1(t, x(t), x(t-h)) + f_2(t, x(t), x(t-h))u, \ t \in [0,T] \\ x(t) = \varphi(t), \quad t \in [-h,0] \end{cases} \tag{1}$$

з критерієм якості

$$J[u] = \int_0^T G(t, x(t), u(t))dt \to \inf. \tag{2}$$

Тут X −банахів простір з відповідною нормою $\|\cdot\|$, $A: X \to X$ лінійний, необмежений, замкнутий оператор і $D(A)$ його область значень, щільна в X, $h > 0$ − величина запізнення.

Нехай $L(X,X)$- простір лінійних обмежених операторів, що діють з Xв X. Вважаємо, щоАє генератором C_0напівгрупи $S(t)=e^{tA}$, $t \geq 0$обмежених операторів.

Стосовно задачі (1)-(2) припускається виконання наступних умов:

A1) напівгрупа $S(t)$ є компактною при $t > 0$;

A2) $f_1:[0,T]\times X\times X \to X$ та $f_2:[0,T]\times X\times X \to L(X,X)$є неперервні за сукупністю змінних;

A3) існує $K>0$: $\|f_1(t,x,y)\|+\|f_2(t,x,y)\| \leq K(1+\|x\|+\|y\|)$, для довільних t, x, y з області визначення;

A4) існує $K>0$:

$$\|f_1(t, x_1, y_1)-f_1(t, x_2, y_2)\|+\|f_1(t, x_1, y_1)-f_1(t, x_2, y_2)\| \leq K(1+\|x_1-x_2\|+\|y_1-y_2\|),$$

для $t \in [0,T]$, x_1, x_2, y_1, y_2 з області визначення;

A5) допустимі керування $u \in L^p(0,T; X)$ $(p>1)$ і $u(t) \in F$ м.с. $t \in (0,T)$, де F - опукла і замкнена множина в X;

A6) $G:[0,T]\times X\times X \to [0,\infty)$ неперервна за сукупністю змінних і опукла по u при фіксованих x, t;

A7) існують $C_0>0$, $C>0$, $\nu>0$:

$$|G(t, x, u)-G(t, x_1, u| \leq C_0(1+\|x\|^{\nu}+\|x_1\|^{\nu}+\|u\|^p);$$

$$G(t, x, u) \geq C\|u\|^p;$$

A8) похідна Фреше L_u неперервна за сукупністю змінних і існують сталі $C_1 > 0, \alpha > 0$:

$$\|L_u(t, x, u)\|_* \leq C_1(1 + \|x\|^{\alpha} + \|u\|^{p-1}),$$

де $\|\cdot\|_*$ - норма в спряженому просторі X^*.

Розв’язок задачі (1) розуміємо у м’якому сенсі.

Задачі (1)-(2) ставиться у відповідність задача оптимального керування (3)-(4) для спеціально побудованої системи рівняннь без запізнення (3), яка називається апроксимаційною.

$$\begin{cases} \dfrac{dz_0(t)}{dt} = Az_0 + f_1(t, z_0(t), z_m(t)) + f_2(t, z_0(t), z_m(t))u(t), \\ \dfrac{dz_{j(t)}}{dt} = \dfrac{m}{h}(z_{j-1}(t) - z_j(t)), \quad t \in [0, T] \\ z_j(0) = \varphi(-\dfrac{h}{m}j), \quad j = \overline{0,m} \end{cases} \tag{3}$$

з відповідним критерієм якості

$$J_m[u] = \int_0^T G(t, z_0(t), u(t)) \to \inf. \tag{4}$$

Позначимо через $J^* = \inf_{u \in U} J[u]$, $J_m^* = \inf_{u \in U} J_m[u]$.

Має місце наступна теорема.

Теорема. Нехай виконуються умови А1)-А9). Тоді задачі (1)-(2) і (3)-(4)мають розв'язки $(x^*(t), u^*(t))$ *і* $(z_{0m}^*(t), u_m^*(t))$ відповідно. При цьому

1) $$J_m^* \to J^*, \quad m \to \infty; \tag{5}$$

2) для будь-якого $\eta > 0$ існує m_0 таке, що для $m > m_0$ маємо

$$|J^* - J[u^*]| < \eta; \tag{6}$$

3) існує послідовність $m_k \to \infty$, $k \to \infty$, така, що

$$z_{0m_k}^*(t) \to x^*(t) \text{ в } C([0,T]; X), \tag{7}$$

$$u_m^*(t) \rightharpoonup u^*(t) \text{ слабко в } L^p(0,T).$$

Якщо при цьому задача (1)-(2) має єдиний розв'язок, то збіжності (7) мають місце для всіх $m \to \infty$.

Список використаних джерел

1. Henry D., Geometric Theory of Semilinear Parabolic Equations, Ltcture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin-New York, 1981. 375 p.
2. Matvii O. V., Cherevko I. M. . On approximation of systems with delay and their Stability. *Nonlinear Oscilations.* 2004. V. 7(2). P. 207-215p.
3. Pazy A. Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Functional Differential Equations, Springer-Verlag, New York, 1983. 288 p.

УДК 517.9

Вікторія Цань, доктор філософії
за спеціальністю 111 Математика, асистент,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

КОЛИВНІСТЬ СЛАБКО НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ТА ВІДПОВІДНИХ РІВНЯНЬ НА ЧАСОВИХ ШКАЛАХ

Анотація. У дослідженні розглянуто задачу збереження коливності розв'язків при переході від лінійних рівнянь другого порядку до слабко нелінійних рівнянь та відповідних їм рівнянь на часових шкалах. Основну увагу приділено ролі малого параметра, початкових даних з компакту та достатньої кількості нулів відповідного лінійного рівняння. Підхід ґрунтується на порівнянні розв'язків диференціальних і динамічних рівнянь на скінченному проміжку часу. Отримані умови дозволяють описати випадки, коли коливна поведінка не руйнується під дією слабкої нелінійності.

Ключові слова: коливність, слабко нелінійне рівняння, динамічне рівняння, часова шкала, узагальнений нуль, малий параметр.

Abstract. The research considers the problem of preserving the oscillation of solutions when passing from linear second-order equations to weakly nonlinear equations and their corresponding equations on time scales. The main attention is paid to the role of a small parameter, initial data from a compact set and a sufficient number of zeros of the corresponding linear equation. The approach is based on the comparison of solutions of differential and dynamic equations on a finite time interval. The obtained conditions make it possible to describe the cases in which oscillatory behavior is preserved under weak nonlinearity.

Keywords: oscillation, weakly nonlinear equation, dynamic equation, time scale, generalized zero, small parameter.

Питання коливності розв'язків рівнянь другого порядку є одним із класичних напрямів якісної теорії диференціальних та різницевих рівнянь. У теорії динамічних рівнянь на часових шкалах ця проблематика набуває додаткового змісту, оскільки поняття нуля розв'язку має враховувати структуру часової шкали, яка може бути як неперервною, так і дискретною, або мати комбінований характер [1; 2]. Для розв'язків динамічних рівнянь на часових шкалах використовується

поняття узагальненого нуля: розв'язок має узагальнений нуль у точці t, якщо він дорівнює нулю в цій точці або змінює знак на проміжку між t та $\sigma(t)$.

Розглянемо лінійне диференціальне рівняння другого порядку

$$\ddot{x} + p(t)x = 0, \quad t \in [0, a],$$

де функція $p(t)$ невід'ємна та задовольняє умову Ліпшиця на відрізку $[0, a]$. Відповідне слабко нелінійне рівняння має вигляд

$$\ddot{x} + p(t)x + \varepsilon f(t, x, \dot{x}) = 0, \quad \varepsilon > 0.$$

Тут ε є малим параметром, а функція $f(t, x, y)$ неперервна за сукупністю змінних і має лінійний ріст за змінними x та y, тобто існує стала $N > 0$, для якої виконується нерівність $|f(t, x, y)| \leq N(1 + |x| + |y|)$.

Рівняння розглядається за початкових умов $x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = y_0$, де $(x_0, y_0) \in K, \quad (0,0) \notin K$, а K є компактом у фазовому просторі.

З рівнянням

$$\ddot{x} + p(t)x = 0$$

розглядається відповідне динамічне рівняння на часовій шкалі $\mathbb{T}_\lambda$:

$$x_\lambda^{\Delta\Delta} + p(t)x_\lambda = 0, \quad t \in \mathbb{T}_\lambda.$$

Тут $x_\lambda^{\Delta}(t)$ позначає дельта-похідну, а $\mathbb{T}_\lambda$ є часовою шкалою з функцією зернистості $\mu_\lambda(t)$. Якщо $\mu_\lambda = \sup_{t \in \mathbb{T}_\lambda} \mu_\lambda(t) \to 0, \quad \lambda \to 0$, то розв'язки динамічного рівняння на часовій шкалі наближаються до розв'язків з тими ж початковими даними відповідного диференціального рівняння.

Для слабко нелінійного випадку важливим є те, що мале нелінійне збурення не змінює коливної поведінки розв'язку, якщо параметр ε достатньо малий. Іншими словами, якщо розв'язок лінійного рівняння має на відрізку $[0, a]$ достатню кількість нулів, то за відповідних умов розв'язок слабко нелінійного рівняння з тими самими початковими даними має коливний характер. Для рівнянь на часових шкалах аналогічне твердження формулюється через наявність достатньої кількості узагальнених нулів відповідного розв'язку [3].

Таким чином, у задачах про коливність слабко нелінійних рівнянь другого порядку одночасно істотними є два параметри: малий параметр ε, який характеризує відхилення від лінійного рівняння, та функція зернистості μ_λ, яка характеризує часову шкалу. За достатньої малості цих параметрів коливність відповідних розв'язків зберігається при переході між диференціальними рівняннями та динамічними рівняннями на часових шкалах.

Отже, дослідження слабко нелінійних рівнянь другого порядку на часових шкалах дозволяє уточнити, за яких умов коливна поведінка розв'язків є стійкою щодо малих нелінійних збурень та зміни часової структури. Такий підхід є природним продовженням результатів про зв'язок між коливністю розв'язків диференціальних рівнянь і відповідних динамічних рівнянь на часових шкалах.

Список використаних джерел

1. Hilger S. Analysis on Measure Chains — A Unified Approach to Continuous and Discrete Calculus. *Results in Mathematics*. 1990. Vol. 18. P. 18–56.
2. Bohner M., Peterson A. Dynamic Equations on Time Scales: An Introduction with Applications. Boston : Birkhäuser, 2001. 358 p.
3. Stanzhytskyi O., Uteshova R., Tsan V., Khaletska Z. On the Relation Between Oscillation of Solutions of Differential Equations and Corresponding Equations on Time Scales. *Turkish Journal of Mathematics*. 2023. Vol. 47, No. 2. P. 476–501. https://doi.org/10.55730/1300-0098.3373

УДК 519.24:519.6

Наталія Кондрат'єва, кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фундаментальної та
прикладної математики,
Вікторія Леонтьєва, кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фундаментальної та
прикладної математики,
Кирил Вітлянчук, здобувач вищої освіти,
Іван Булин, здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти,
Геннадій Усатенко, здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти,
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ

Анотація. В роботі досліджено методологію математичного планування експерименту та продемонстровано її практичне застосування для оптимізації технологічного процесу осадження тонких плівок методом магнетронного розпилення. На основі центрально-композиційного плану 2-го порядку з двома факторами побудовано адекватну регресійну модель, яка описує залежність швидкості осадження від керованих параметрів процесу. Представлений підхід дозволив скоротити кількість необхідних дослідів порівняно з класичними підходами, зберігаючи при цьому повноту інформації про досліджуваний об'єкт.

Ключові слова: планування експерименту, поверхня відгуку, центрально-композиційний план, регресійна модель, оптимізація, канонічний аналіз.

Abstract. The paper investigates the methodology of mathematical experimental planning and demonstrates its practical application for optimizing the technological process of thin-film deposition by magnetron sputtering. Based on a second-order central composite plan with two factors, an adequate regression model that describes the dependence of the deposition rate on the controlled process parameters was constructed. The presented approach made it possible to reduce the number of required experiments compared to classical approaches, while preserving the completeness of information about the object under study.

Keywords: experimental planning, response surface, central composite plan, regression model, optimization, canonical analysis.

Проблема ефективної організації наукового та інженерного експерименту є однією з ключових у прикладній математиці [1-8]. Будь-яке практичне дослідження, від встановлення залежності між параметрами фізичного явища до оптимізації промислового технологічного процесу, неминуче стикається з необхідністю раціонального вибору умов проведення дослідів. Традиційний підхід, у якому дослідник послідовно варіює один фактор, утримуючи решту сталими, хоча й залишається інтуїтивно прозорим, виявляється принципово обмеженим: він не лише вимагає значних часових та матеріальних ресурсів, але й є концептуально неспроможним виявляти ефекти взаємодії між чинниками. Усвідомлення такої обмеженості сформувало системну дисципліну математичного планування експерименту.

Незважаючи на значний масив наукової літератури з математичного планування експерименту, питання послідовного та методично виваженого застосування методів планування другого порядку у поєднанні зі статистичним аналізом та канонічною інтерпретацією результатів залишається актуальним, оскільки в численних практичних роботах відповідна методологія часто застосовується не в повному обсязі або не обґрунтовується у статистичному сенсі. Отже, метою цієї статті є демонстрація цілісного методологічного підходу – від постановки задачі та конструювання матриці плану до побудови регресійної моделі, перевірки її адекватності та канонічного аналізу поверхні відгуку – на прикладі оптимізації конкретного фізичного процесу осадження тонких плівок методом магнетронного розпилення.

В якості об’єкта дослідження обрано процес планарного магнетронного розпилення, широко застосовуваний у мікроелектроніці та нанотехнологіях для формування функціональних тонкоплівкових покриттів. Функцією відгуку y виступає швидкість осадження плівки, нм/хв, – параметр, що безпосередньо визначає продуктивність процесу та однозначно вимірюється за умов конкретних дослідів. З урахуванням фізичної природи процесу в якості основних керованих

чинників визначено: потужність розряду u_1 (Вт) та тиск аргону u_2 (Па) – параметри, що домінують у кінетиці перенесення частинок від мішені до підкладки. Решту умов (відстань мішень-підкладка, матеріал мішені, температура підкладки) зафіксовано на рівні, типовому для технологічних умов лабораторної установки.

Переведення від натуральних значень факторів до кодованих змінних – стандартна процедура, що забезпечує порівнянність ефектів та чисельну стійкість матриці планування. Зв'язок між натуральними та кодованими значеннями i-го фактора описується лінійним перетворенням

$$x_i = \frac{u_i - u_i^0}{\Delta u_i}, \quad i = 1,2,$$

де u_i^0 – базове (центральне) значення; Δu_i – одиниця варіювання. Для потужності розряду: $u_1^0 = 200$ Вт, $\Delta u_1 = 100$ Вт; для тиску аргону: $u_2^0 = 0{,}500$ Па, $\Delta u_2 = 0{,}200$ Па. У кодованому масштабі кожен фактор набуває значень від $-\alpha$ до $+\alpha$ в межах активної зони планування.

Для апроксимації невідомої поверхні відгуку моделлю другого порядку обрано центрально-композиційний план (ЦКП), який є одним з найбільш поширених та статистично вивчених планів методу поверхні відгуку (МПВ) [1, 5]. ЦКП з $k = 2$ факторами складається з трьох підгруп точок: $2^k = 4$ факторних точок (вершини квадрата в кодованому просторі), $2k = 4$ зоряних (осьових) точок та n_0 центральних точок-реплікацій.

Ротатабельність плану (властивість, що забезпечує рівність дисперсії передбачення у всіх точках, рівновіддалених від центру), досягається при значенні зоряного плеча $\alpha = \sqrt[4]{2^k} = \sqrt{2} \approx 1{,}414$.

Загальна кількість дослідів становить

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 11.$$

Матрицю ЦКП у кодованих змінних разом із зареєстрованими значеннями відгуку наведено у табл. 1.

Геометричне розташування дослідних точок у кодованому факторному просторі ілюструє рис. 1.

Таблиця 1. Матриця центрально-композиційного плану та результати вимірювань швидкості осадження

№	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2	y, нм/хв
1	-1	-1	1	1	1	37,4
2	$+1$	-1	1	1	-1	51,5
3	-1	$+1$	1	1	-1	34,2
4	$+1$	$+1$	1	1	$+1$	47,1
5	$-1{,}414$	0	2	0	0	32,9
6	$+1{,}414$	0	2	0	0	51,2
7	0	$-1{,}414$	0	2	0	47,6
8	0	$+1{,}414$	0	2	0	38,5
9	0	0	0	0	0	50,7
10	0	0	0	0	0	49,5
11	0	0	0	0	0	50,1

Розглянемо процес побудови регресійної моделі для поставленої в роботі задачі. Математична постановка задачі апроксимації передбачає пошук рівняння регресії другого порядку загального вигляду:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i\, x_i + \sum_{i=1}^{k} b_{ii}\, x_i^2 + \sum_{1 \le i < j \le k} b_{ij}\, x_i x_j + \varepsilon,$$

де b_0 – вільний член; b_i – коефіцієнти при лінійних членах; b_{ii} – при квадратичних; b_{ij} – при членах взаємодії; $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ – випадкова складова. Для $k = 2$ модель включає $p = 6$ параметрів.

У матричній формі вектор оцінок коефіцієнтів визначається методом найменших квадратів:

$$\hat{\mathbf{b}} = (\mathbf{X}^\top \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^\top \mathbf{y},$$

де $\mathbf{X}$ – матриця плану розмірності $N \times p$, $\mathbf{y}$ – вектор-стовпець зареєстрованих відгуків.

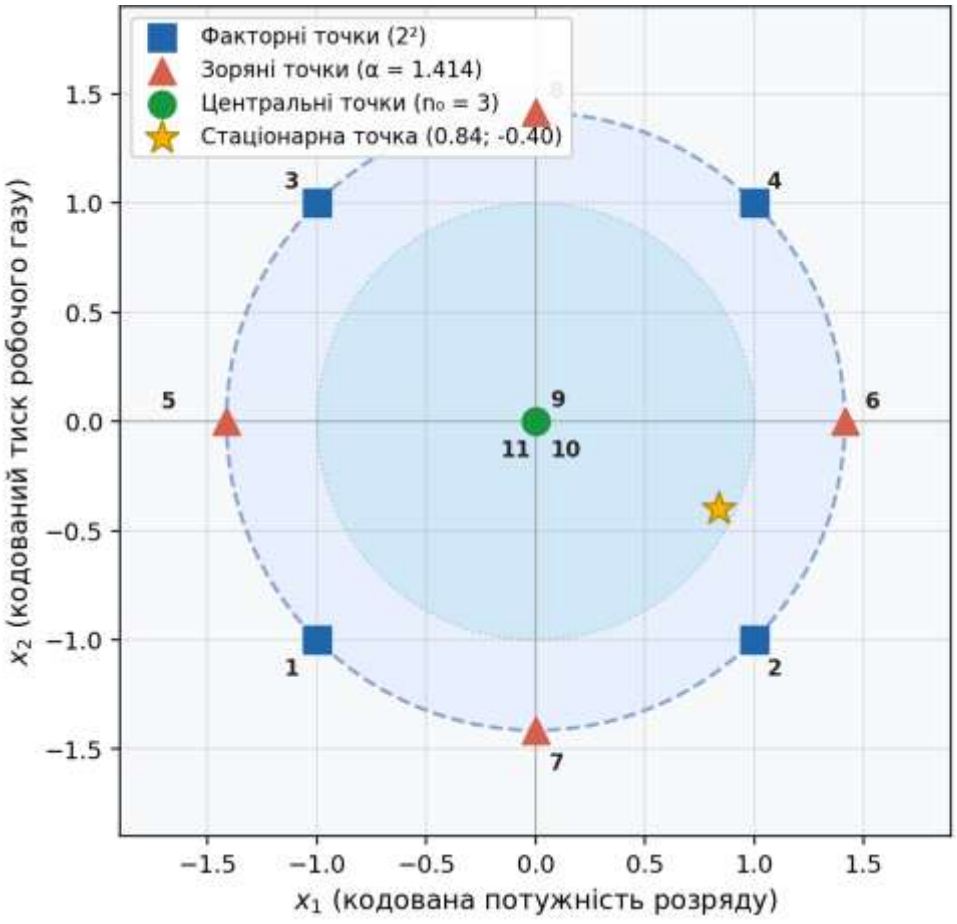


Рис. 1. Матриця центрально-композиційного плану ($k = 2$, $\alpha = \sqrt{2}$, $N = 11$)

Завдяки спеціальній структурі ЦКП матриця $\mathbf{X}^\top \mathbf{X}$ набуває майже блочно-діагонального вигляду, що спрощує обчислення та зменшує кореляції між оцінками коефіцієнтів.

Підставляючи значення з табл. 1, отримуємо числові оцінки коефіцієнтів моделі, подані в табл. 2.

Перевірка значущості кожного коефіцієнта здійснюється за t-критерієм Стьюдента:

$$t_j = \frac{|\hat{b}_j|}{s_{\hat{b}_j}}, \quad s_{\hat{b}_j} = s\sqrt{c_{jj}},$$

де $s = \sqrt{MS_{\text{res}}} \approx 0{,}933$ нм/хв – залишкове стандартне відхилення; $c_{jj} = [(\mathbf{X}^{\top}\mathbf{X})^{-1}]_{jj}$ – відповідний діагональний елемент оберненої матриці.

Таблиця 2. Оцінки коефіцієнтів регресійної моделі та їхня статистична значущість ($t_{\text{кр}} = 2{,}571$, $\alpha = 0{,}05$, $\nu = 5$)

Коефіцієнт	**Оцінка $\hat{b}$**	**Стандартна похибка s_b**	**t-критерій**	**Значущість**
b_0	50,100	0,538	93,06	+
b_1	6,610	0,330	20,05	+
b_2	−2,559	0,330	7,76	+
b_{11}	−4,025	0,392	10,26	+
b_{22}	−3,525	0,392	8,98	+
b_{12}	−0,300	0,466	0,64	–

Порівнюючи розраховані значення t_j з табличним $t_{\text{кр}}(0{,}05; 5) = 2{,}571$, бачимо, що усі лінійні та квадратичні члени є статистично значущими, тоді як ефект взаємодії b_{12} такої значущості не досягає. Це свідчить про переважно незалежний вплив потужності розряду та тиску аргону на швидкість осадження в межах дослідженого факторного простору, що фізично інтерпретується стаціонарністю кінетики розпилення за даних умов: при підвищенні потужності розряду час осадження частинок скорочується незалежно від рівня тиску газу, що визначає довжину вільного пробігу.

Наведемо результати перевірки адекватності моделі. Перш за все, представимо числові характеристики якості апроксимації. Так, коефіцієнт детермінації

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{res}}}{SS_{\text{tot}}} \approx 0{,}992,$$

скоригований коефіцієнт $R^2_{\text{adj}} = 0{,}984$ показує, що побудована модель пояснює понад 99 % варіації функції відгуку.

Загальна значущість моделі оцінюється за F-критерієм Фішера:

$$F = \frac{SS_{\text{reg}}/(p-1)}{SS_{\text{res}}/(N-p)} \approx 121{,}4,$$

що суттєво перевищує критичне значення $F_{\text{кр}}(0{,}05; 5{,}5) = 5{,}05$, підтверджуючи статистичну значущість регресії в цілому.

Поряд із загальною перевіркою значущості окремим та концептуально важливим є критерій браку відповідності (критерій LOF), що розрізняє «чисту» помилку відтворюваності від відхилень, зумовлених неправильною специфікацією форми моделі. В такому випадку дисперсія відтворюваності, оцінена за трьома центральними реплікаціями $n_0 = 3$ ($y_9 = 50{,}7$, $y_{10} = 49{,}5$, $y_{11} = 50{,}1$ нм/хв) визначається у вигляді

$$s^2_{\text{відтв}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_0}\left(y_{0j} - \bar{y}_0\right)^2}{n_0 - 1} = 0{,}360 \text{ (нм/хв)}^2.$$

Тоді критерій LOF представляється наступним чином:

$$F_{\text{LOF}} = MS_{\text{LOF}}/s^2_{\text{відтв}} = 3{,}36 < F_{\text{кр}}(0{,}05; 3{,}2) = 19{,}16.$$

Відсутність статистично значущого браку відповідності свідчить про те, що квадратична модель достатньо точно відображає фактичну форму поверхні відгуку: дисперсія залишків зумовлена переважно випадковим розкидом вимірювань, а не систематичним спотворенням через вибір неадекватного ступеня полінома.

З урахуванням незначущості коефіцієнта b_{12}, рівняння регресії набуває форми

$$\hat{y} = 50{,}10 + 6{,}61\,x_1 - 2{,}56\,x_2 - 4{,}025\,x_1^2 - 3{,}525\,x_2^2 - 0{,}30\,x_1x_2.$$

В даному рівнянні від'ємні значення коефіцієнтів при квадратичних членах $b_{11} < 0$ та $b_{22} < 0$ якісно сигналізують про те, що поверхня відгуку матиме вигнутий (куполоподібний) характер з максимумом усередині дослідженого простору – результат, що цілком узгоджується з фізичними уявленнями про існування оптимального режиму магнетронного розпилення.

Надалі наведемо результати аналізу поверхні відгуку. Наочне уявлення про характер залежності $\hat{y}(x_1, x_2)$ дають тривимірний графік поверхні відгуку (рис. 2) та карта ізоліній (рис. 3). Ізолінії правильної еліптичної форми з спільним центром у точці максимуму підтверджують, що стаціонарна точка є глобальним максимумом у межах дослідженого факторного простору. При цьому форма еліпсів свідчить про дещо більшу чутливість відгуку до варіювання потужності x_1 порівняно з тиском x_2: нахил головної осі ізоліній є ближчим до горизонтальної, тобто до напряму зміни x_1.

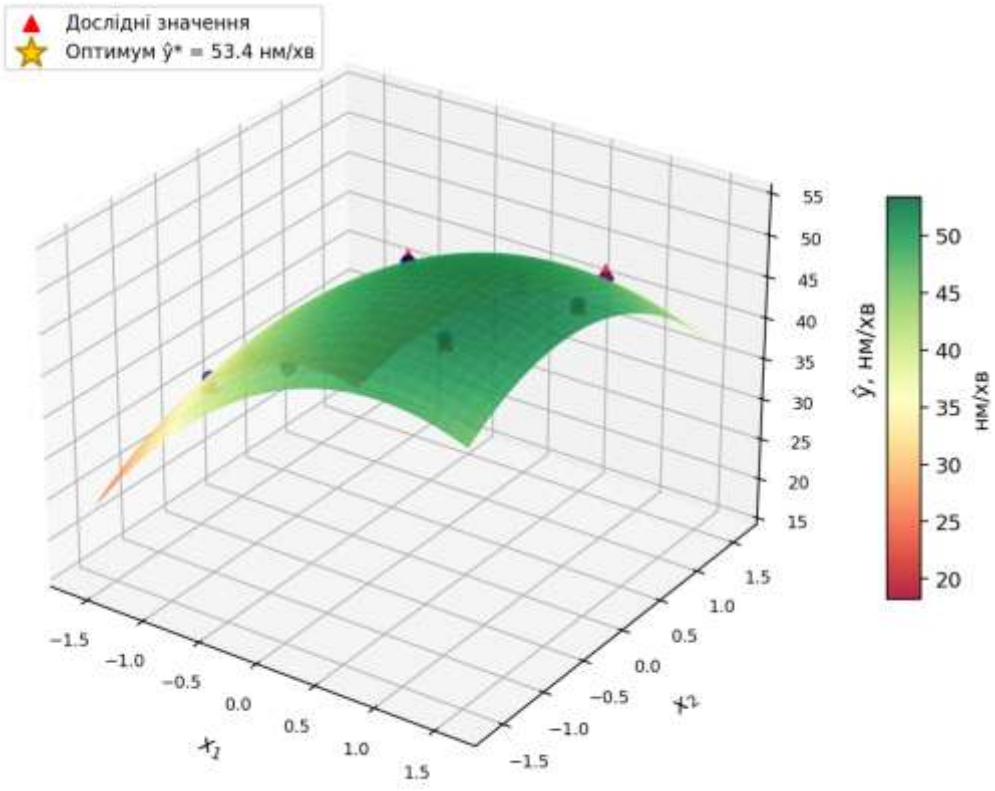


Рис. 2. Поверхня відгуку $\hat{y}(x_1, x_2)$ (швидкість осадження плівки)

Для формалізованого встановлення характеру стаціонарної точки та пошуку оптимуму застосовано канонічний аналіз поверхні відгуку [1, 5]. Квадратична частина рівняння записується у матричній формі у вигляді

$$\hat{y} = \hat{b}_0 + \mathbf{x}^\top \mathbf{b} + \mathbf{x}^\top \mathbf{B}\,\mathbf{x},$$

де $\mathbf{b} = (b_1, b_2)^\top$ – вектор лінійних коефіцієнтів, $\mathbf{B}$ – симетрична матриця квадратичної форми:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12}/2 \\ b_{12}/2 & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4{,}025 & -0{,}150 \\ -0{,}150 & -3{,}525 \end{pmatrix}.$$

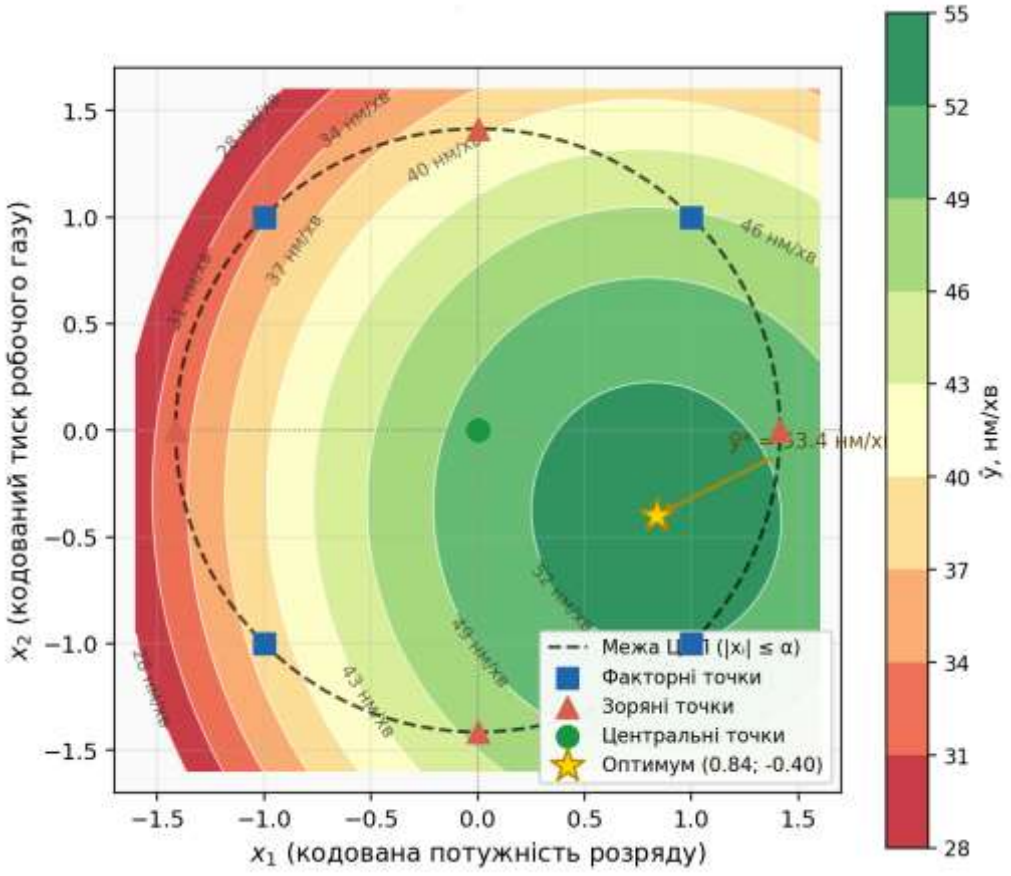


Рис. 3. Карта ізоліній поверхні відгуку (швидкість осадження плівки, нм/хв)

Координати стаціонарної точки $\mathbf{x}^*$ знаходяться з умови нульового градієнта:

$$\mathbf{x}^* = -\frac{1}{2}\,\mathbf{B}^{-1}\mathbf{b},$$

що дає $x_1^* = 0{,}836$, $x_2^* = -0{,}399$. Обидві координати знаходяться в межах активної зони ЦКП ($|x_i^*| < \alpha$), тому стаціонарна точка є внутрішньою по відношенню до дослідженого простору.

Власні числа матриці **B**

$$\lambda_1 = -4{,}067, \quad \lambda_2 = -3{,}484$$

є обидва від'ємними, що є формальним підтвердженням того, що стаціонарна точка є максимумом поверхні відгуку.

Канонічна форма рівняння у власних осях z_1, z_2 (орієнтованих вздовж власних векторів матриці **B**) має вигляд

$$\hat{y} = \hat{y}^* + \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 = 53{,}37 - 4{,}067\, z_1^2 - 3{,}484\, z_2^2$$

та наочно ілюструє форму поверхні: відхилення від максимуму в будь-якому напрямку спричиняє зниження відгуку, причому більш різке – у напрямку власного вектора, що відповідає λ_1 (напрямок максимальної кривизни), і дещо повільніше – у напрямку λ_2 (напрямок мінімальної кривизни).

Перераховані оптимальні кодовані координати у натуральні значення факторів мають вигляд

$$u_1^* = u_1^0 + \Delta u_1 \cdot x_1^* \approx 284{,}0 \text{ Вт},$$
$$u_2^* = u_2^0 + \Delta u_2 \cdot x_2^* \approx 0{,}420 \text{ Па}.$$

Максимальне значення швидкості осадження, передбачене моделлю в оптимальній точці, представляється у вигляді $\hat{y}^* \approx 53{,}4$ нм/хв.

Отримані оптимальні умови є фізично обґрунтованими: підвищена потужність розряду $u_1^* \approx 284$ Вт забезпечує достатню кількість розпилених атомів при відносно зниженому тиску $u_2^* \approx 0{,}42$ Па, що зменшує кількість зіткнень атомів на шляху від мішені до підкладки та тим самим підвищує їх кінетичну енергію та щільність потоку на поверхні підкладки.

Отже, викладені в роботі результати переконливо демонструють, що метод поверхні відгуку у поєднанні з центрально-композиційним планом є потужним та статистично обґрунтованим інструментом оптимізації фізичних та технологічних

процесів. Ключовою перевагою застосованого підходу виявлена суттєва економія дослідницьких ресурсів: для повного дослідження двофакторного простору та побудови адекватної квадратичної моделі виявилося достатнім провести лише $N = 11$ дослідів, тоді як традиційне повнофакторне сканування з використанням п'яти рівнів на кожен фактор вимагало б $5^2 = 25$ і більше точок без будь-яких гарантій отримання придатної для оптимізації аналітичної моделі. Статистичні критерії (F-тест Фішера, t-тест Стьюдента для коефіцієнтів та критерій браку відповідності) утворили ієрархічну систему перевірок, кожна з яких додала довіри до отриманої моделі на конкретному рівні: від загальної значущості регресії до адекватності вибору ступеня полінома. Канонічний аналіз, у свою чергу, дозволив перейти від «параметричного» опису коефіцієнтів до «геометричного» розуміння форми поверхні відгуку, що зробило результати оптимізації придатними не лише для практичного використання, але й для фізичної інтерпретації. Практичне значення одержаних результатів виходить за межі конкретного технологічного застосування. Встановлений алгоритм (від вибору факторів та побудови центрально-композиційного плану через оцінювання коефіцієнтів методом найменших квадратів до верифікації адекватності та канонічного аналізу) є універсальним та може бути перенесений на широкий клас задач фізико-математичних та технічних наук.

Список використаних джерел

1. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. Hoboken : John Wiley & Sons, 2019. 757 p.
2. Box G. E., Hunter J. S., Hunter W. G. Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery. New York : Wiley-Interscience, 2005. 656 p.
3. Lawson J. Design and Analysis of Experiments with R. Boca Raton : CRC Press, 2015. 600 p.
4. Ryan T. P. Modern Experimental Design. Hoboken : John Wiley & Sons, 2007. 592 p.
5. Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Hoboken : John Wiley & Sons, 2016. 705 p.

6. Chen P.-Y., Chen R.-B., Wong W. K. Particle Swarm Optimization for Searching Efficient Experimental Designs: A Review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2022. Vol. 14, No. 5. Article e1578.
7. Ji H., Müller H.-G. Optimal Designs for Longitudinal and Functional Data. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B: Statistical Methodology*. 2017. Vol. 79, No. 3. P. 859–876.
8. Rha H., Kao M.-H., Pan R. Design Optimal Sampling Plans for Functional Regression Models. *Computational Statistics and Data Analysis*. 2020. No. 146. Article 106925.

УДК 004.896:004.75:004.432

Вікторія Леонтьєва, кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фундаментальної та
прикладної математики,
Наталія Кондрат'єва, кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фундаментальної та
прикладної математики,
Олександр Фоменко, здобувач вищої освіти,
Геннадій Усатенко, здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти,
Гліб Грива, здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти,
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ МАМДАНІ В ЗАДАЧАХ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСІВ

Анотація. У роботі досліджено методологію побудови та верифікації системи нечіткого логічного виводу за алгоритмом Мамдані для розв'язання задачі динамічної пріоритизації запитів у розподілених обчислювальних системах; обґрунтовано вибір трикутних функцій належності та *t*-норми мінімуму в якості операторів логічного сполучення; розроблено програмний модуль мовою програмування Python та проведено верифікацію моделі при критичних вхідних параметрах. За результатами моделювання підтверджено адекватність моделі та встановлено, що впровадження запропонованого підходу в реальних IT-системах дозволяє знизити непродуктивні енерговитрати на 15-20%.

Ключові слова: нечітка логіка, алгоритм Мамдані, дефазифікація, управління ресурсами, розподілені системи, *t*-норма.

Abstract. The paper investigates a methodology for constructing and verifying a fuzzy logic inference system based on the Mamdani algorithm to solve the problem of dynamic query prioritization in parallel computing systems; it justifies the choice of triangular membership functions and the *t*-norm minimum as logical conjunction operators; a software module was developed in the Python programming language, and the model was verified under critical input parameters. The simulation results confirmed the adequacy of the model and established that the implementation of the proposed approach in real IT systems allows for a reduction in non-productive energy consumption by 15-20%.

Keywords: fuzzy logic, Mamdani algorithm, defuzzification, resource management, parallel computing systems, *t*-norm.

Прискорений розвиток розподілених обчислювальних систем та хмарних інфраструктур поставив перед системними архітекторами клас задач, що принципово виходять за межі класичного детермінованого керування. Ядро цього протиріччя – бінарна природа традиційних порогових алгоритмів, при якій система або реагує, або залишається пасивною, тоді як реальна деградація сервісу є процесом поступовим, контекстно-залежним та багатовимірним. Стан операційного середовища, що відповідає описовому судженню «завантаження є суттєво підвищеним, але ще не критичним», не знаходить формального відображення в рамках бінарної логіки, що, у свою чергу, породжує дві симетричні патології керування. З одного боку, жорсткий поріг породжує хибно-позитивні спрацювання: транзієнтний пік навантаження, що тривав лічені секунди, отримує той самий сигнал реагування, що й стійка деградація сервісу. З іншого боку, ситуації, в яких кілька показників одночасно наближаються до критичних значень без перетину будь-якого конкретного порогу, залишаються поза полем реагування системи. Таким чином, «сіра зона» між нормальним функціонуванням та аварійним станом – саме та область, де зосереджується більшість практично значущих ситуацій в розподілених IT-системах – виявляється принципово недосяжною для формального опису детермінованими методами, що й обумовлює необхідність звернення до апарату нечіткої логіки.

Теоретичну основу для формальної роботи з невизначеністю заклав Л. Заде у фундаментальній праці 1965 року [1], де вперше введено поняття нечіткої множини та функції належності – відображення елементів універсальної множини на відрізок [0,1]. Даний результат відкрив шлях від дискретної бінарної логіки до континуальної, де ступінь істинності будь-якого висловлювання є кількісно вимірюваною величиною. Перехід від теоретичної конструкції до реального інструменту керування здійснено в роботі [2], реалізувавши нечіткий регулятор для парового двигуна на основі лінгвістичних правил «ЯКЩО – ТО». Цей результат

засвідчив принципову можливість формалізації досвіду людини-оператора та став відправним пунктом для розвитку всього напряму нечіткого управління. Паралельно в роботі [3] запропоновано алгоритм нечіткого виводу з функціональними виходами у вигляді поліномів від вхідних змінних. Така архітектура суттєво переважає алгоритм Мамдані за обчислювальною ефективністю та математичною регулярністю, однак ціною є втрата лінгвістичної інтерпретованості виходу – характеристики, принципово важливої для систем людино-машинної взаємодії та задач, де верифікація бази знань є вимогою. Систематичний виклад теорії нечітких множин та методів нечіткого виводу, включаючи порівняльний аналіз Мамдані та Сугено, представлено в роботах [4-7]. Попри широку теоретичну базу, питання практичної специфікації нечіткого контролера – вибору архітектури функцій належності, порогів активації правил та методу дефазифікації – для задач керування обчислювальними ресурсами залишається предметом окремих прикладних досліджень.

Метою роботи є розробка, програмна реалізація та верифікація системи нечіткого логічного виводу за алгоритмом Мамдані для задачі динамічної пріоритизації запитів у розподілених обчислювальних системах, а також встановлення кількісних показників адекватності запропонованої моделі за результатами комп'ютерного моделювання в умовах критичного навантаження.

Зупинемось, перш за все, на теоретичних засадах алгоритму Мамдані. В основі алгоритму Мамдані [2] лежить концепція нечіткого висновку, що реалізується через чотири послідовні етапи, формально поєднаних операціями над функціями належності. Ключовим математичним об'єктом є функція належності $\mu_A(x)$, що відображає кожен елемент x з універсальної множини X у ступінь його приналежності нечіткій множині A у відповідності до [1]:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,\ 1], \tag{1}$$

де X – універсальна множина (область значень вхідної змінної); $\mu_A(x)$ – ступінь належності елемента x до нечіткої множини A, що набуває значень від 0 (повне невходження) до 1 (повне входження).

На першому етапі нечіткого виводу (фазифікації) кожна чітка вхідна змінна відображається в один або декілька нечітких лінгвістичних термів («низький», «середній», «високий») через відповідні функції належності. Для задач реального часу, де обчислювальна складність є критичним чинником, оптимальним вибором є трикутна функція належності $trimf$, що параметризується трійкою (a, b, c) та визначається у вигляді [4]

$$trimf(x;\ a, b, c)\ =\ max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right). \quad (2)$$

Представлена форма забезпечує лінійну обчислювальну складність та природно відтворює концептуальну структуру лінгвістичного терму: вершина при $x = b$ відповідає найбільш типовому значенню, а нулі при $x = a$ та $x = c$ – граничним значенням, за якими елемент повністю виходить за межі терму. Вибір трикутної форми є свідомим компромісом між точністю апроксимації суб'єктивних оцінок та мінімальною обчислювальною вартістю операції дефазифікації в режимі реального часу.

На другому етапі формується база знань у вигляді правил типу «ЯКЩО [умова] ТО [висновок]». Логічне сполучення умов у межах одного правила реалізується через t-норму – операцію, що узагальнює логічне «*І*» на нечіткі множини. Для алгоритму Мамдані стандартним вибором є t-норма мінімуму вигляду [2, 4]

$$\mu_{A\cap B}(x, y)\ =\ min(\mu_A(x), \mu_B(y)), \quad (3)$$

що відповідає консервативній стратегії оцінки: ступінь активації правила обмежується найменш виконаною умовою серед усіх антецедентів.

Третій та четвертий підетапи – агрегація результатів у межах кожного правила та акумуляція сукупного нечіткого висновку через операцію максимуму –

формують результуючу нечітку множину B, що є геометричним «відбитком» всієї бази знань при поточних вхідних умовах. Завершальний етап дефазифікації перетворює цю множину на чітке числове значення методом центроїда – центру ваги геометричної фігури, утвореної функцією належності результуючої нечіткої множини [1, 2]:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \cdot \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(y_i)}, \quad (4)$$

де y^* – результуюче чітке значення вихідної змінної; y_i – дискретні відліки вихідної змінної в межах її універсальної множини; $\mu(y_i)$ – ступінь належності кожного відліку після акумуляції.

Метод центроїда є найбільш поширеним у практичних застосуваннях завдяки властивості неперервності: мала зміна вхідних умов зумовлює малу зміну чіткого виходу, що є необхідною умовою для практичного застосування в системах керування.

Розглянемо специфікацію нечіткого контролера для задачі системної оптимізації ресурсів. Об'єктом дослідження є процес динамічного розподілу обчислювальних ресурсів у розподілених системах. Задача формулюється наступним чином: за вхідними показниками завантаження процесора (Load, діапазон 0-100 %) та мережевої затримки (Latency, діапазон 0-500 мс) необхідно визначити числове значення вихідної змінної Priority (пріоритет обробки запиту, шкала 0-10), що визначає черговість обслуговування в черзі запитів. Вибір верхньої межі Latency на рівні 500 мс обґрунтовується відомими порогами якості обслуговування (QoS): затримка понад 400-500 мс критично знижує прийнятність для більшості класів мережевих застосунків, включаючи інтерактивні сервіси реального часу. Для вхідної змінної Load визначено три лінгвістичні терми з трикутними функціями належності: «low» – $trimf(x; 0{,}0{,}50)$, «medium» – $trimf(x; 20{,}50{,}80)$ та «high» – $trimf(x; 50{,}100{,}100)$. Зміщені межі терму «medium» (20-80 %, а не симетричні 0-100 %) забезпечують більш широку зону

перекриття термів, що природно відображає характер суб'єктивної оцінки: перехід між станами «нормального» та «підвищеного» навантаження є поступовим і нелінійним. Для Latency визначено два терми: «low» – $trimf(x; 0{,}0{,}250)$ та «high» – $trimf(x; 100{,}500{,}500)$, а для вихідної змінної Priority – три терми: «low» – $trimf(y; 0{,}0{,}5)$, «medium» – $trimf(y; 2{,}5{,}8)$ та «high» – $trimf(y; 5{,}10{,}10)$. Графічне представлення функцій належності всіх трьох змінних наведено на рис. 1, де штрихова лінія позначає рівень зрізу активованого терму «high», вертикальна суцільна лінія – значення центроїда $y^* = 8{,}22$.

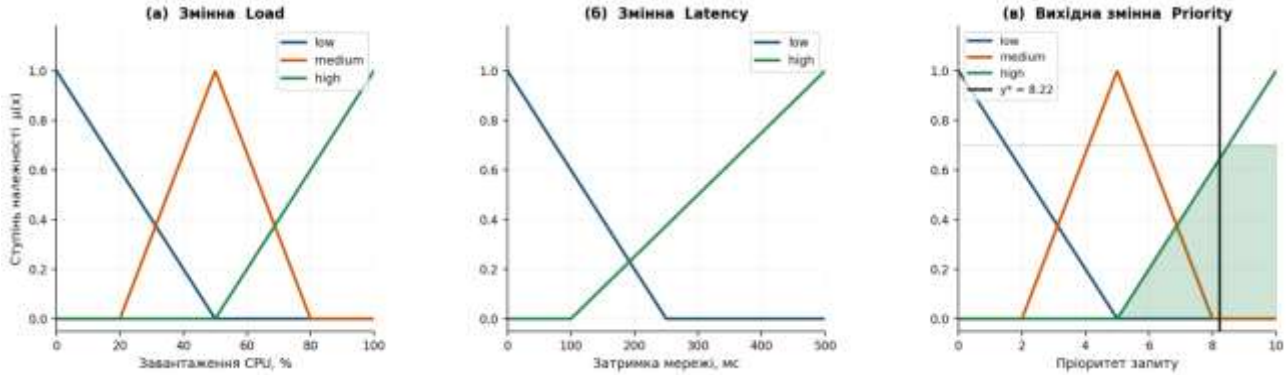


Рис. 1. Функції належності вхідних змінних Load і Latency та вихідної змінної Priority нечіткого контролера

База знань нечіткого контролера містить три правила виводу, сформульовані на основі аналізу типових сценаріїв навантаження. Перше правило «ЯКЩО Load висока АБО Latency висока, ТО Priority висока» охоплює найбільш критичний клас ситуацій: незалежно від того, який саме показник є проблемним, система призначає максимальний пріоритет. Друге правило «ЯКЩО Load середня ТА Latency низька, ТО Priority середня» відповідає стану нормальної операційної активності. Третє правило «ЯКЩО Load низька ТА Latency низька, ТО Priority низька» характеризує стан відносного спокою системи. Використання оператора «АБО» (s-норма максимуму) у першому правилі є принциповим архітектурним рішенням: кожен з показників окремо є достатньою підставою для призначення високого пріоритету, що відповідає стратегії мінімізації ризику відмови в обслуговуванні.

Програмна реалізація представленої задачі виконана мовою програмування Python з використанням спеціалізованої бібліотеки scikit-fuzzy [8], що надає об'єктно-орієнтований інтерфейс для побудови систем нечіткого виводу на основі бібліотеки NumPy. Вхідні та вихідні лінгвістичні змінні представлені об'єктами класів Antecedent та Consequent відповідно; функції належності визначені методом fuzz.trimf; система правил сформована через клас ctrl.Rule з підтримкою логічних операторів «&» (AND, *t*-норма мінімуму) та «|» (OR, *s*-норма максимуму) відповідно до алгоритму Мамдані. Виконання нечіткого виводу здійснюється через об'єкт ControlSystemSimulation; дефазифікація – методом центроїда, реалізованим у бібліотеці за замовчуванням відповідно до (4).

Для верифікації моделі проведено стрес-тест при критичних значеннях вхідних параметрів: завантаження CPU – 85 %, мережева затримка – 300 мс. Обраний сценарій відповідає ситуації стійкого підвищеного навантаження, що тривало перевищує нейтральний поріг та не є транзієнтним стрибком. За першим правилом з операцією «АБО», активація відбулась за обома показниками одночасно. Для змінної Load: ступінь належності до терму «high» $\mu(85) = (85 - 50)/(100 - 50) = 0{,}70$. Для змінної Latency: ступінь належності до терму «high» $\mu(300) = (300 - 100)/(500 - 100) = 0{,}50$. Оскільки першим правилом застосовується *s*-норма максимуму, результуючий ступінь активації першого правила: $\alpha_1 = max(0{,}70; 0{,}50) = 0{,}70$. Акумульована результуюча нечітка множина відповідає зрізаному терму «high» вихідної змінної Priority з рівнем зрізу 0,70.

Застосування методу центроїда (із використанням (4)) до отриманої фігури, що являє собою трапецієподібну ділянку терму «high» між значеннями Priority ≈ 5 та Priority ≈ 10, дало чітке значення пріоритету $y^* = 8{,}22$ за шкалою від 0 до 10. Даний результат підтверджує змістовну адекватність моделі: значення 8,22 відповідає суб'єктивній оцінці стану «критично-висока потреба у системному втручанні» та залишає семантичний простір для ще більш критичних ситуацій

(наприклад, $\text{Load} = 100\ \%$, $\text{Latency} = 500$ мс мали б дати значення, близьке до 10). Принципово важливою є демонстрація нелінійного характеру реакції системи: незважаючи на те, що жоден з параметрів не досяг свого граничного значення, система видала результат, суттєво вищий від «нейтральної середини» (5,0), демонструючи ефект нечіткого узагальнення контексту навантаження.

Запропонована система нечіткого виводу демонструє ряд практично значущих властивостей, що відрізняють її від детермінованих аналогів (табл. 1):

– нелінійний, контекстно-зважений характер реакції дозволяє розрізняти ситуації, неможливі до розрізнення при пороговому керуванні: 55 % завантаження при 300 мс затримки та 85 % завантаження при 80 мс затримки можуть вимагати якісно різних реакцій, та нечітка логіка природно забезпечує таке розрізнення через незалежний вплив кожного антецеденту на результуючу нечітку множину;

– лінгвістична інтерпретованість бази знань дозволяє залучати доменних експертів до формування та верифікації правил без спеціальної математичної підготовки – перевага, що суттєво знижує поріг впровадження порівняно з підходами машинного навчання. Разом з тим, метод Мамдані програє методу Сугено за обчислювальною швидкістю, оскільки вимагає повного циклу агрегації-акумуляції та дефазифікації центроїдом, що для систем із жорсткими вимогами до затримки управління може бути обмеженням. Розрахункові оцінки, отримані шляхом числового моделювання, вказують на потенційне зниження непродуктивних енерговитрат на 15-20 % порівняно з пороговими алгоритмами завдяки точнішій та своєчаснішій пріоритизації запитів.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз методів нечіткого виводу

Метод	**Тип виходу**	**Обчислювальна складність**	**Найкраща застосовність**
Мамдані	нечітка множина	середня	– до людино-машинних систем;

	(потребує дефазифікації)		– для задачі з вимогою лінгвістичної інтерпретації;
Сугено	чітке число або лінійна функція	Низька	– у адаптивному керуванні; – для ШІ-систем з вимогою математичної точності;
Fuzzy AHP	вектор вагових коефіцієнтів	Висока	– для стратегічного планування; – при ранжуванні критеріїв прийняття рішень;
Fuzzy TOPSIS	ранжований рейтинг альтернатив	Висока	– при виборі конкретного варіанту за великою кількістю параметрів.

Отже, в результаті проведеного дослідження розроблено та верифіковано систему нечіткого логічного виводу за алгоритмом Мамдані для задачі динамічної пріоритизації запитів у розподілених обчислювальних системах. Теоретичний аналіз засвідчив, що алгоритм Мамдані є оптимальним вибором серед методів нечіткого виводу для задач, де вирішальними є лінгвістична інтерпретованість результату та можливість безпосереднього залучення доменних експертів до формування правил: вихід нечіткого виводу залишається семантично осмисленою нечіткою множиною аж до фінального етапу дефазифікації, що принципово відрізняє цей метод від алгоритму Сугено.

Програмна реалізація мовою Python із використанням бібліотеки scikit-fuzzy підтвердила технічну реалізованість запропонованої архітектури. Верифікація при критичних вхідних параметрах ($\text{Load} = 85\,\%,\ \text{Latency} = 300\,\text{мс}$) дала значення пріоритету $y^* = 8{,}22/10$. Отриманий результат змістовно відповідає стану «критично-висока потреба у системному втручанні» та демонструє нелінійний, контекстно-зважений характер реакції нечіткої системи, якісно відмінний від детермінованого порогового керування. Метод центроїда забезпечив неперервну залежність виходу від входів, що є необхідною умовою для застосування в системах керування реального часу. Крім того, встановлено, що запропонований

підхід дозволяє знизити непродуктивні енерговитрати системи на 15-20 % та підвищити ефективність використання обчислювальних ресурсів порівняно зі стандартними пороговими алгоритмами.

Список використаних джерел

1. Zadeh L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965. Vol. 8, No. 3. P. 338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X
2. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7, No. 1. P. 1–13. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2
3. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1985. Vol. 15, No. 1. P. 116–132. https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399
4. Ross T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2010. 608 p. https://doi.org/10.1002/9781119994374
5. Klir G. J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995. 574 p.
6. Файнзільберг Л. С., Жуковська О. А., Якимчук В. С. Теорія прийняття рішень: підручник. Київ: Освіта України, 2018. 246 с.
7. Bellman R. E., Zadeh L. A. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*. 1970. Vol. 17. P. 141–164. https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141
8. Warner J. D. GitHub - scikit-fuzzy/scikit-fuzzy: Fuzzy Logic SciKit (Toolkit for SciPy). *GitHub*. URL: https://github.com/scikit-fuzzy/scikit-fuzzy (дата звернення: 01.05.2026).

УДК 517.518

Світлана Гембарська, кандидат фізико-математичних наук,
завідувач кафедри теорії функцій та
методики навчання математики,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ТРИГОНОМЕТРИЧНІ ПОПЕРЕЧНИКИ КЛАСІВ ПЕРІОДИЧНИХ ФУНКЦІЙ $B^{\Omega}_{p,\theta}$ У ПРОСТОРІ $B_{1,1}$

Анотація: досліджуються питання про порядкові оцінки тригонометричних поперечників класів $B^{\Omega}_{p,\theta}$ [1] періодичних функцій однієї та багатьох змінних у просторі $B_{1,1}$,норма в якому є більш сильною ніж L_1- норма. Надалі Ω – функція типу модуля неперервності порядку *l*, яка задовольняє умови Барі-Стєчкіна (S^{α}) та (S_l), і для певної функції Ω класи $B^{\Omega}_{p,\theta}$ збігаються з відомими класами Нікольского-Бєсова $B^{r}_{p,\theta}$.

Ключові слова: тригонометричний поперечник, періодична функція, норма.

Abstract: the questions of ordinal estimates of trigonometric diameters of classes $B^{\Omega}_{p,\theta}$ [1] of periodic functions of one and many variables in the space $B_{1,1}$, the norm in which is stronger than L_1- norm, are investigated. In the following, Ω is a function of the type of the module of continuity of order *l* , which satisfies the Bari-Stechkin conditions (S^{α}) and (S_l), and for a certain function Ω, the classes $B^{\Omega}_{p,\theta}$ coincide with the well-known Nikolsky-Besov classes $B^{\mathrm{r}}_{p,\theta}$.

Keywords: trigonometric diameter, periodic function, norm.

Нехай F⊂X – деякий функціональний клас в нормованому просторі X. Тоді тригонометричний поперечник класу F в просторі X (позначення $d^T_M(F,X)$) визначається згідно з формулою [2]

$$d^T_M(F,X) = \inf_{\theta_M} \sup_{f\in F} \inf_{t(\theta_M)} \|f - t(\theta_M)\|_X,$$

де

$$t(\theta_M) \coloneqq t(\theta_M; x) = \sum_{j=1}^{M} c_j e^{i(k^j,x)},\ \left(k^j, x\right) = k^j_1 x_1 + \ldots + k^j_d x_d\ ,$$

$\theta_M = \{k^1, \ldots, k^M\}$ – всі можливі набори векторів $k^j = \left(k^j_1, \ldots, k^j_d\right), j = \overline{1, M}$, цілочислової решітки $Z^d, c_j \in C$.

Теорема. Нехай $1 \leq p, \theta \leq \infty, \Omega(t) = \omega(\prod_{j=1}^{d} t_j)$, де $\omega(\tau)$ задовольняє умову (S^{α}) з деяким $\alpha > 0$ і умову (S_l). Тоді для будь-якої послідовності $M = (M_n)_{n=1}^{\infty}$ натуральних чисел такої, що $M_n \asymp 2^n n^{d-1}$, справедливе співвідношення

$$d_M^T\left(B_{p,\theta}^{\Omega}, B_{1,1}\right) \asymp \omega(2^{-n}) n^{(d-1)(1-\frac{1}{\theta})}.$$

Список використаних джерел

1. Yongsheng S., Heping W. Representation and approximation of multivariate periodic functions with bounded mixed moduli of smoothness. *Tr. Mat. Inst. Steklova*. 1997. V. 219. P. 356–377.
2. Ismagilov R. S. Diameters of sets in linear normed spaces and approximation of functions by trigonometric polynomials. *Uspekhi Mat. Nauk.* 1974. V. 29. P. 169-186.

UDC 519.7

Yevhenii Radchyn, PhD,
Odesa I. I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine
Olga Kichmarenko, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Military Academy (Odesa), Odesa, Ukraine

SUFFICIENT CONDITIONS FOR THE EXISTENCE OF AN OPTIMAL SOLUTION TO A CONTROL PROBLEM FOR INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION IN BANACH SPACES

Abstract. This work examines an optimal control problem for a class of integro-differential equation parabolic type in a Banach space. Sufficient conditions on the coefficients are established to guaranty the existence of optimal pairs. In our case, the main problem of optimal control is considered up to the time of existence of the solution from the fixed domain, which distinguishes the analyzed problem from other investigations.

Keywords: optimal control, weakly convergence, unbounded operator, semigroup, minimizer, fixed point.

We consider an optimal control for an evolutionary integro-differential equation in Banach spaces involving the time until the solution leaves a specified domain. The system is governed by the following:

$$\frac{du}{dt} = Au + f_1(t,u) + f_2(t,u)z + \int_0^t f_3(t,s,u(s))z(s)ds\,,$$

$$u(0) = u_0. \tag{1}$$

The representation of the control is evaluated using a criterion:

$$J[z] = \int_0^\tau L(t,u(t),z(t))dt \to inf\,. \tag{2}$$

Here $A: X \to X$ is a linear (unbounded) operator in the reflexive Banach space X, where X is equipped with the norm $\|\cdot\|_X$, domain $D(A)$ is dense in X.

Throughout this paper, we will use $\|\cdot\|$ instead of $\|\cdot\|_X$. Let D be an open set in X, and let ∂D be its boundary in the sense of [1, p. 8], and $\overline{D} = D \cup \partial D, \tau$ be the first moment of the solution $u(t)$ exiting at ∂D until T, otherwise $\tau = T, T > 0$ is fixed. Let

$f_1: [0,T] \times D \rightarrow X, f_2: [0,T] \times D \rightarrow L(X,X)$ be the space of linear bounded operators from X to X with the norm $\|\cdot\|_{\mathcal{L}}, f_3: [0,T] \times [0,T] \times D \rightarrow L(X,X), z(t) \in X$ be the control parameter.

Our work summarizes the results of [2], [3], [4] and [6] for the finite-dimensional case.

Assumption 1. *(H1). We assume that operator A is the infinitesimal generator of a C_0 semigroup $\{S(t)_t \geq 0\}$ bounded linear operators in X. We assumed that the semigroup $S(t)$ is compact for $t > 0$.*

Then, under assumption (H1), theorem 3.2 of [5] implies that the semigroup $S(t)$ is continuous in the uniform operator topology for $t > 0$:

Definition 1. We say that the function $u(t) \in X$ is a mild solution of the initial problem

$$\frac{du}{dt} = \dot{u} = Au + f\left(t, u(t), \int_0^t \varphi\left(t, s, x(s)\right)ds\right), u(0) = u_0 \in X. \qquad (3)$$

on $[0,T]$ if:

1) $u(0) = u_0$*;*

2) $u \in C([0,T], X)$*;*

3) $u(t)$ *satisfies the integral equation*

$$u(t) = S(t)u_0 + \int_0^t S(t-s)\, f\left(s, u(s), \int_0^s \varphi\left(s, \tau, u(\tau)\right)d\tau\right)ds, \qquad (4)$$

on $[0,T]$.

In the following, we will interpret the solution to Problem (1) in the sense of definition 1.

We consider the optimal control problem (1)-(2) under the following conditions.

Assumption 2. *(H2). The admissible control $z(t)$ are the functions $z(t)$ such that $z \in L^P((0,T); X), p > s$, and $z(t) \in F$ for a.e. $t \in (0,T)$, where F is closed convex set in X, and the solution of (1). $u(t) = u(t,z)$, that corresponds control z exists and continuous up to the first moment it reaches the boundary of the domain D, and $J[z] < \infty$.*

We impose the following conditions of nonlinearity:

Assumption 3. *(H3). Let* $f_1 : [0,T] \times D \to X, f_2 : [0,T] \times D \to L(X,X), f_3 : [0,T] \times [0,T] \times D \to L(X,X)$, *and for any* $t \in [0,T], s \in [0,T], f_1(t,\cdot)$, $f_2(t,\cdot), f_3(t,s,\cdot)$ *are continuous on* $u \in D$, *and for any fixed* $u \in D, f_1(\cdot,u)$, $f_2(\cdot,u), f_3(\cdot,\cdot,u)$ *are measurable on* t.

Assumption 4. *(H4). Linear growth. There exist positive constant* K, *such that*

$$\| f_1(t,u) \| + \| f_2(t,u) \|_{\mathcal{L}} + \| f_3(t,s,u) \|_{\mathcal{L}} \leq K(1 + |u|)$$

for all $t \in [0,T], u \in D$.

Now we will describe conditions of the cost function.

Assumption 5. *(H5). The mapping* $L(t,u,z) : [0,T] \times D \times F \to \mathbb{R}^1$ *in continuous for all variables.*

Assumption 6. *(H6). The Fréchet derivative* L_z *is continuous for all argument and there exist* $C_1 > 0, \alpha > 0$ *such that*

$$\| L_z(t,u,z) \|_* \leq C_1(1 + \| u \|^{\alpha} + \| z \|^{P-1}),$$

where $\|\cdot\|_*$ is the norm in the dual space X^*.

Assumption 7. *(H7). There exist constants* $C_2 \geq 0, C_3 > 0$, *and function* $\omega \in L^1(0,T;R^+)$ *such that*

$$L(t,u,z) \geq \omega(t) + C_2 \| u \| + C_3 \| z \|^P,$$

for all $t \in [0,T], u \in D, z \in F$.

Assumption 8. *(H8).* $L(t,u,z)$ *is convex on z for fixed* $t \in [0,T], u \in D$.

Assumption 9. *(H9). There exist* $C_4 > 0, \upsilon > 0$ *such that for any* $u, u_1 \in X$, $t \in [0,T], z \in P : |L(t,u,z)) - L(t,u_1,z)| \leq C_0 \| u - u_1 \| (1 + \| u \|^{\upsilon} + \| u_1 \|^{\upsilon} + \| z \|^P)$.

The main result of this work concerns the existence of an optimal pair $(u^*(t), z^*(t))$ for the problem (1) - (2).

The main result is stated in the theorem:

Theorem 1. *Suppose that assumptions (H1) - (H9) hold. Then the optimal control problem (1) - (2) has a solution* $(u^*(t), z^*(t))$*, where* $z^*(t)$ *is an optimal control,* $u^*(t)$ *is the corresponding optimal trajectory.*

Remark 1. *It is clear that the result of theorem 1 is valid if we assume that the mapping* $z(t)$ *takes values in another reflexive Banach space* Y*, with obvious minor modifications to the conditions. The belonging* $z(t) \in X$ *is assumed solely for simplicity.*

References

1. Kato T. Perturbation Theory for Linear Operators. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 623 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-66282-9
2. Lakhva R., Khaletska Z., Mogylova V. The optimal control problem for systems of integro-differential equations with finite and infinite horizon. *Georgian Mathematical Journal*. 2024. Vol. 32, № 3. P. 465–476. https://doi.org/10.1515/gmj-2024-2065
3. Mogylova V., Lakhva R., Kravets V. Optimal control problem for systems of integrodifferential equations. *Journal of Mathematical Sciences*. 2024. Vol. 282. P. 983–1007. https://doi.org/10.1007/s10958-024-07229-3
4. Nosenko T. V., Stanzhyts'kyi O. M. Averaging method in some problems of optimal control. *Nonlinear Oscillations*. 2008. Vol. 11, № 4. P. 539–547. https://doi.org/10.1007/s11072-009-0049-5
5. Pazy A. Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Differential Equations. NewYork: Applied Mathematical Sciences, Springer-Verlag, 1983. 281 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5561-1
6. Samoilenko A. M., Stanzhitskii A. N. On the averaging of differential equations on an infinite interval. *Differential Equations*. 2006. Vol. 42, №4. P. 505–511. https://doi.org/10.1134/S0012266106040070

УДК 517.958:517.956.4

Андрій Громик, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій,
фізико-математичних та безпекових дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,
м. Кам'янець-Подільський, Україна
Іван Конет, доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри теорії функцій та методики навчання математики,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна
Тетяна Пилипюк, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук,
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,
м. Кам'янець-Подільський, Україна

ГІПЕРБОЛІЧНІ КРАЙОВІ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ В НАПІВОБМЕЖЕНОМУ КУСКОВО-ОДНОРІДНОМУ КЛИНОВИДНОМУ ПОРОЖНИСТОМУ ЦИЛІНДРІ

Анотація. Методом класичних інтегральних і гібридних інтегральних перетворень у поєднанні з методом головних розв'язків (матриць впливу та матриць Гріна) вперше побудовано єдині точні аналітичні розв'язки гіперболічних крайових задач математичної фізики в напівобмеженому кусково-однорідному клиновидному порожнистому циліндрі.

Ключові слова: гіперболічне рівняння, початкові та крайові умови, умови спряження, інтегральні перетворення, гібридні інтегральні перетворення, головні розв'язки.

Abstract. By the method of classical integral and hybrid integral transforms combined with the method of main solutions (influence matrices and Green's matrices), unique exact analytical solutions of hyperbolic boundary value problems of mathematical physics in a semi-bounded piecewise-homogeneous wedge-shaped hollow cylinder are constructed for the first time.

Keywords: hyperbolic equation, initial and boundary conditions, conjugation conditions, integral transforms, hybrid integral transforms, main solutions.

У доповіді розглядаються задачі побудови обмежених на множині

$$D = \left\{ (t,r,\varphi,z) \middle| t > 0; r \in I_n^+ = \bigcup_{j=1}^{n+1} I_j = \bigcup_{j=1}^{n+1} (R_{j-1}; R_j); \right.$$
$$\left. R_0 > 0; R_{n+1} \equiv R < +\infty; \varphi \in (0;\varphi_0); 0 < \varphi_0 < 2\pi; z \in (0;+\infty) \right\}$$

класичних розв'язків лінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними гіперболічного типу 2-го порядку зі змінними коефіцієнтами [3]

$$\frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} - \left[a_{rj}^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{a_{\varphi j}^2}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + a_{zj}^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] u_j + \chi_j^2 u_j = f_j(t,r,\varphi,z); \quad (1)$$
$$r \in I_j;\ j = \overline{1,n+1}$$

з початковими умовами

$$u_j\big|_{t=0} = g_j^1(r,\varphi,z);\ \frac{\partial u_j}{\partial z}\Big|_{t=0} = g_j^2(r,\varphi,z); r \in I_j;\ j = \overline{1,n+1}, \quad (2)$$

крайовими умовами

$$\left(-\frac{\partial}{\partial z} + h \right) u_j \Big|_{z=0} = w_j(t,r,\varphi); \quad \frac{\partial^s u_j}{\partial z^s}\Big|_{z=+\infty} = 0; s = 0,1;\ j = \overline{1,n+1}, \quad (3)$$

$$\left(\alpha_{11}^0 \frac{\partial}{\partial r} + \beta_{11}^0 \right) u_1 \Big|_{r=R_0} = g_0(t,\varphi,z);\ \left(\alpha_{22}^{n+1} \frac{\partial}{\partial r} + \beta_{22}^{n+1} \right) u_{n+1} \Big|_{r=R} = g(t,\varphi,z), \quad (4)$$

одними з крайових умов на гранях клина [1]

$$u_j\big|_{\varphi=0} = g_{1j}(t,r,z); \quad u_j\big|_{\varphi=\varphi_0} = w_{1j}(t,r,z);\ j = \overline{1,n+1}, \quad (5)$$

$$u_j\big|_{\varphi=0} = g_{2j}(t,r,z); \quad \frac{\partial u_j}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi=\varphi_0} = -w_{2j}(t,r,z);\ j = \overline{1,n+1}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial u_j}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi=0} = g_{3j}(t,r,z); \quad u_j\big|_{\varphi=\varphi_0} = w_{3j}(t,r,z);\ j = \overline{1,n+1}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial u_j}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi=0} = g_{4j}(t,r,z); \quad \frac{\partial u_j}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi=\varphi_0} = -w_{4j}(t,r,z);\ j = \overline{1,n+1} \quad (8)$$

та умовами спряження [2]

$$\left[\left(\alpha_{j1}^k \frac{\partial}{\partial r} + \beta_{j1}^k \right) u_k - \left(\alpha_{j2}^k \frac{\partial}{\partial r} + \beta_{j2}^k \right) u_{k+1} \right]\Big|_{r=R_k} = 0;\ j = 1,2;\ k = \overline{1,n}, \quad (9)$$

де

$a_{rj},\ a_{\varphi j},\ a_{zj},\ \chi_j,\ h,\ \alpha_{js}^k,\ \beta_{js}^k$ – деякі сталі;

$\alpha_{11}^0 \le 0,\ \beta_{11}^0 \ge 0;\ \left|\alpha_{11}^0\right| + \beta_{11}^0 \ne 0; \quad \alpha_{22}^{n+1} \ge 0,\ \beta_{22}^{n+1} \ge 0;\ \alpha_{22}^{n+1} + \beta_{22}^{n+1} \ne 0;$

$c_{jk} \equiv \alpha_{2j}^k \beta_{1j}^k - \alpha_{1j}^k \beta_{2j}^k \ne 0;\ c_{1k} \cdot c_{2k} > 0;$

$f_j(t,r,\varphi,z);\ g_j^s(r,\varphi,z);\ w_j(t,r,\varphi),\ g_0(t,\varphi,z),\ g(t,\varphi,z),\ g_{pj}(t,r,z);\ w_{pj}(t,r,z);$

$(p = \overline{1,4};\ j = \overline{1,n+1})$ – задані дійсні обмежені неперервні функції;

$u_j(t,r,\varphi,z)$ – шукані дійсні двічі неперервно диференційовні функції.

Одержані інтегральні зображення розв'язків гіперболічних початково-крайових задач спряження (1)-(4), (5), (9); (1)-(4), (6), (9); (1)-(4), (7), (9); (1)-(4), (8), (9) носять алгоритмічний характер, неперервно залежать від параметрів і вихідних даних задач й можуть бути використані як у подальших теоретичних дослідженнях, так і в практиці інженерних розрахунків математичних моделей коливних процесів у кусково-однорідних середовищах, які описуються циліндричною системою координат.

Список використаних джерел

1. Громик А. П., Конет І. М. Гіперболічні крайові задачі математичної фізики в кусково-однорідних циліндричних середовищах. Кам'янець-Подільський : ПП «Видавництво Абетка світ», 2020. 200 с.
2. Конет І. М., Пилипюк Т. М. Крайові задачі в кусково-однорідних циліндрично-кругових середовищах. Чернівці : Технодрук, 2019. 200 с.
3. Самойленко В. Г., Конет І. М. Рівняння математичної фізики. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2014. 283 с.

УДК 517.518

Катерина Соліч, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри математичного аналізу та статистики,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

НАБЛИЖЕННЯ КЛАСІВ ПЕРІОДИЧНИХ ФУНКЦІЙ БАГАТЬОХ МАЖОРАНТОЮ МІШАНИХ МОДУЛІВ НЕПЕРЕРВНОСТІ У ПРОСТОРІ L_∞

Анотація. Одержано точні за порядком оцінки апроксимативних характеристик класів типу Нікольського- Бєсова $B^{\Omega}_{\infty,\theta}$ періодичних функцій багатьох змінних у просторі L_∞.

Ключові слова: апроксимативні характеристики, оцінки наближення, функції багатьох змінних, лінійний оператор.

Abstract. We are obtained exact-order estimates of the approximate characteristics of Nikolsky-Besov-type classes $B^{\Omega}_{\infty,\theta}$ of periodic functions of many variables in the space L_∞.

Keywords: approximate characteristics, approximation estimates, functions of many variables, linear operator.

Досліджується питання оцінок апроксимативних характеристик класів типу Нікольського- Бєсова $B^{\Omega}_{\infty,\theta}$ періодичних функцій багатьох змінних із заданими функціями $\Omega(t)$ спеціального виду. Апроксимація функцій з відповідних класів здійснюється за допомогою лінійних операторів, які відповідають певним умовам, а похибка апроксимації оцінюється в просторі L_∞. Отримані оцінки доповнюють і узагальнюють деякі результати роботи [1], пов'язані з апроксимацією класів типу Нікольського H^{Ω}_{∞}.

Нехай $\mathbb{R}^d$, $d \geq 1$, - d-вимірний простір з елементами $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$ і $(x, y) = x_1y_1 + x_2y_2 + \cdots + x_dy_d$ – скалярний добуток елементів $x, y \in \mathbb{R}^d$. Нехай $L_p(\mathbb{T}^d)$, $\mathbb{T}^d = \prod_{j=1}^{d}[0,2\pi)$, визначимо простір функцій f, що є 2π-періодичними по кожній змінній і

$$\|f\|_p := \|f\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} = \left((2\pi)^{-d}\int_{\mathbb{T}^d}|f(x)|^p dx\right)^{1/p} < \infty,\ 1 \le p < \infty,$$

$$\|f\|_\infty := \|f\|_{L_\infty(\mathbb{T}^d)} = \operatorname*{ess\,sup}_{x\in\mathbb{T}^d}|f(x)| < \infty.$$

Нехай далі $1 \le p \le \infty$, $1 \le \theta \le \infty$ і $\Omega(t)$ – задана функція типу мішаного модуля неперервності порядку l. Тоді класи $B^{\Omega}_{p,\theta}$ означимо згідно [2]:

$$B^{\Omega}_{p,\theta} = \left\{f \in L^0_p(\mathbb{T}^d): \|f\|_{B^{\Omega}_{p,\theta}} \le 1\right\},$$

де

$$\|f\|_{B^{\Omega}_{p,\theta}} = \left\{\int_{\mathbb{T}^d}\left(\frac{\Omega_l(f,t)_p}{\Omega(t)}\right)^\theta \prod_{j=1}^d \frac{dt_j}{t_j}\right\}^{1/\theta},\ \ 1 \le \theta < \infty,$$

$$\|f\|_{B^{\Omega}_{p,\infty}} = \sup_{t>0}\frac{\Omega_l(f,t)_p}{\Omega(t)},$$

(вираз $t > 0$ для $t = (t_1, t_2, \dots, t_d)$ рівносильний $t_j > 0, j = \overline{1,d}$).

У подальшому будемо вивчати класи $B^{\Omega}_{p,\theta}$, що визначаються функцією $\Omega(t)$:

$$\Omega(t) = \Omega(t_1, t_2, \dots, t_d) = \begin{cases} \prod_{j=1}^d \dfrac{t_j^r}{\left(\log 1/t_j\right)_+^{b_j}}, \text{якщо } t_j > 0, j = \overline{1,d}; \\ 0, \text{ якщо } \prod_{j=1}^d t_j = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Тут і надалі розглядаються логарифми з основою 2.

Для функцій з класу $F \subset L_q(\mathbb{T}^d)$ означимо:

$$d_M^B(F, L_q) = \inf_{G\in L_M(B)_q}\sup_{f\in F\cap D(G)}\|f - Gf\|_q,$$

де $L_M(B)_q$ – множина лінійних операторів, що задовольняють умови:

а) область визначення $D(G)$ цих операторів містить усі тригонометричні поліноми, а область їх значень міститься в підпросторі розмірністю M простору $L_q(\mathbb{T}^d)$;

б) існує таке число $B \ge 1$, що для всіх векторів $k = (k_1, k_2, \dots, k_d)$, $k_j \in \mathbb{Z}$, $j = \overline{1,d}$, виконується нерівність $\left\|Ge^{i(k,\cdot)}\right\|_2 \le B$.

Мають місце наступні теореми.

Теорема 1. Нехай $1 \le \theta < \infty$ і $\Omega(t)$ – функція виду (1). Тоді для $0 < r < l$, $b_1 \le \cdots \le b_d < r$ має місце співвідношення

$$d_M^B\left(B_{\infty,\theta}^{\Omega}, L_\infty\right) \asymp M^{-r}(\log M)^{-b_1-\cdots-b_d+(d-1)(r+1-1/\theta)}.$$

Теорема 2. Нехай $1 \le \theta < \infty$ і $\Omega(t)$ – функція виду (1). Тоді для $0 < r < l$, $b_j > r+1, j = \nu+1, \ldots, d$ має місце співвідношення

$$d_M^B\left(B_{\infty,\theta}^{\Omega}, L_\infty\right) \asymp M^{-r}(\log M)^{-b_1-\cdots-b_\nu+(\nu-1)(r+1-1/\theta)}.$$

Теорема 3. Нехай $1 \le \theta < \infty$ і $\Omega(t)$ – функція виду (1). Тоді для $0 < r < l$, $b_2 > b_1 + 1$ має місце співвідношення

$$d_M^B\left(B_{\infty,\theta}^{\Omega}, L_\infty\right) \asymp M^{-r}(\log M)^{-b_1}.$$

Зауваження. Аналогічні теореми 1-3 для класів H_∞^Ω були отримані в роботі [1]. Крім того при виконанні умов теореми 3 отримаємо співвідношення

$$d_M^B\left(B_{\infty,\theta}^{\Omega}, L_\infty\right) \asymp d_M^B(H_\infty^\Omega, L_\infty).$$

Список використаних джерел

1. Pustovoitov N. N. The orthowidths of classes of multidimensional periodic functions, for which the majorant of mixed continuity moduli contains power and logarithmic multipliers. *Anal. Math.* 2008. V. 34 (3). Pp. 187-224. https://doi.org/10.1007/s10476-008-0303-6
2. Yongsheng S., Heping W. Representation and approximation of multivariate periodic functions with bounded mixed moduli of smoothness. *Tr. Mat. Inst. Steklova*. 1997. V. 219. P. 356-377.

УДК 517.518

Світлана Гембарська, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувач кафедри теорії
функцій та методики навчання математики,
Костянтин Жигалло, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри теорії
функцій та методики навчання математики,
Леонід Войтюк, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
факультету інформаційних технологій і математики,
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
м. Луцьк, Україна

АПРОКСИМАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ БІГАРМОНІЙНИХ ІНТЕГРАЛІВ ПУАСОНА НА КЛАСАХ ФУНКЦІЙ ГЕЛЬДЕРА

Отримано точне значення верхньої межі відхилення бігармонійного інтеграла Пуассона від функцій класу Гельдера H^1 в рівномірній та інтегральній метриках.

Через $L_{2\pi}^1$ будемо позначати клас 2π-періодичних інтегровних функцій з нормою

$$\left|\left|f\right|\right|_1 = \int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|\, dx,$$

Множину функцій $f \in L_{2\pi}^1$,, які задовольняють нерівність

$$\left|\left|f(x+t) - f(x)\right|\right|_1 \leq |t|, \qquad (1)$$

будемо позначати, як прийнято, через H_1^1 і називати класом Гельдера. Якщо ж $f \in L_{2\pi}^1$, і виконується нерівність

$$\left|\left|f(x+t) - 2f(x) + f(x-t)\right|\right|_1 \leq 2|t|,$$

то множину таких функцій позначають через H_1^2 і називають класом квазігладких функцій [7].

Для 2π періодичної сумовної функції f через $A_2(\rho), 0 \leq \rho < 1$, будемо позначати (див., наприклад, [1]) бігармонійний інтеграл Пуассона:

$$A_2(\rho) = A_2(\rho, f, x) = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t+x)P_\rho(t)\,dt,$$

де $P_\rho(t) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left(1 + \frac{k}{2}(1-\rho^2)\right)\rho^k kt$ – бігармонійне ядро Пуассона. Покладемо $\rho = e^{-\frac{1}{\delta}}, \delta > 0$, і надалі бігармонійний інтеграл Пуассона будемо записувати у вигляді

$$A_{2,\delta}(f,x) = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t+x)\,P_\delta(t)\,dt,$$

де $P_\delta(t) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left(1 + \frac{k}{2}\left(1 - e^{-\frac{2}{\delta}}\right)\right)e^{-\frac{k}{\delta}}\cos kt$, як і раніше, – бігармонійне ядро Пуассона.

В даній роботі вивчається поведінка величин

$$\mathrm{E}\left(H_1^1;\, A_{2,\delta}\right)_1 = sup_{f\in H_1^1}\,||\,A_{2,\delta}(f,x) - f(x)\,||_1, \qquad (2)$$

коли $\delta \to \infty$,

Якщо в явному вигляді знайдена функція $\varphi(\delta) = \varphi(H_1^1;\delta)$ така, що при $\delta \to \infty$,

$$\mathrm{E}\left(H_1^1;\, A_{2,\delta}\right)_1 = \varphi(\delta) + o(\varphi(\delta)),$$

то, наслідуючи О.І. Степанця [6, с. 198], будемо казати, що розв'язана задача Колмогорова--Нікольського для бігармонійного інтеграла Пуассона на класі H_1^1.

С. Канієв [4] для величини $\mathrm{E}\left(H_\infty^2;\, A_2(\rho)\right)$ при $\rho \to 1-0$ встановив таку асимптотичну рівність:

$$\mathrm{E}\left(H_\infty^2;\, A_2(\rho)\right)_\infty = \frac{2}{\pi}(1-\rho) + \frac{\varepsilon_\rho}{\pi}, \qquad \varepsilon_\rho = o(1-\rho). \qquad (3)$$

В роботі P. Pych [5] отримано такий результат:

$$\mathrm{E}\left(H_\infty^2;\, A_2(\rho)\right)_\infty = \frac{2}{\pi}(1-\rho) + O\left((1-\rho)^2 \ln\frac{1}{1-\rho}\right), \qquad \rho \to 1-0. \quad (4)$$

При наближенні функцій класу H_∞^2 їх бігармонійними інтегралами Пуассона оцінки (3) і (4) дають можливість встановити першу асимптотичну константу

(константу Колмогорова — Нікольського) (див. [3]). Метою даної роботи є отримання точних значень верхньої межі відхилення бігармонійного інтеграла Пуассона від функцій класу Гельдера H_1^1, в рівномірній та інтегральній метриках.

Теорема. *При* $\delta \to \infty$ *має місце рівність*

$$\mathrm{E}\left(H_1^1;\, A_{2,\delta} \right)_1 = \frac{1 - e^{-\frac{2}{\delta}}}{\pi} \int_\pi^\infty \frac{[t]_{2\pi}}{t^2}\, dt +$$

$$+ \left(\frac{2}{\pi\delta} - 2\frac{1 - e^{-\frac{2}{\delta}}}{\pi} \right) \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \int_\pi^\infty \frac{[t]_{2\pi}}{t^{2k}} dt \left(\frac{1}{\delta} \right)^{2k-2} +$$

$$+ \frac{1 - e^{-\frac{2}{\delta}}}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{1}{\pi^{2k}} \left(\frac{1}{\delta} \right)^{2k} + \left(\frac{2}{\pi\delta} - \frac{1 - e^{-\frac{2}{\delta}}}{\pi} \right) (\ln\delta + \ln\pi) +$$

$$+ \left(\frac{2}{\pi\delta} - \frac{1 - e^{-\frac{2}{\delta}}}{\pi} \right) \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} \frac{1}{2k\pi^{2k}} \left(\frac{1}{\delta} \right)^{2k}, \qquad (5)$$

де символ $[f(t)]_{2\pi}$ означає парне 2π-періодичне продовження функції $f(t)$.

Наслідок. При $\delta \to \infty$ мають місце асимптотичні рівності:

$$\mathrm{E}\left(H_1^2;\, A_{2,\delta} \right)_1 = \frac{2}{\pi\delta} + O\left(\frac{\ln\delta}{\delta^2} \right),$$

$$\mathrm{E}\left(H_1^2;\, A_{2,\delta} \right)_1 = \frac{2}{\pi\delta} - \frac{4\ln\delta}{\pi\delta^2} + O\left(\frac{1}{\delta^2} \right).$$

Співвідношення (5) дає можливість знаходити послідовно константи Колмогорова-Нікольського як завгодно високого порядку малості. Відмітимо, що аналогічну теорему для випадку наближення функцій класу Гельдера H_1^1, сингулярними інтегралами Абеля--Пуассона отримано В. О. Баскаковим (див. [2]).

Список використаних джерел

1. Петров В. А. Бігармонійний інтеграл Пуасона. *Лит. мат. сб.* 1967. Т. 7, № 1. С. 137–142.
2. Baskakov V. A. Some properties of operators of Abel-Poisson type. *Mathematical Notes*. 1975. Vol. 17, no. 2. P. 101–107.

3. Erdélyi A. Asymptotic Expansions. New York : Dover Publications, 1956. 108 p.
4. Kaniev S. On the deviation from their boundary values of function which are biharmonic in the circle. *Soviet Mathematics – Doklady*. 1963. Vol. 4. P. 1541–1544.
5. Pych P. On biharmonic function in unit disc. *Ann. pol. math*. 1968. T. 20, № 3. P. 203–213.
6. Stepanets A. I. Methods of Approximation Theory. VSP : Leiden ; Boston, 2005. 919 p.
7. Timan A. F. Theory of Approximation of Functions of a Real Variable. Oxford : Pergamon Press, 1963. 631 p.

УДК 621.362 : 621.472

Володимир Сєриков, кандидат технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник кафедри теорії і
систем автоматизованого проектування механізмів і машин,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна
Наталія Дереглазова, спеціаліст вищої категорії, «старший учитель»,
директорка комунального закладу «Харівська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Вікторія Волошан, вчитель математики, фізики та астрономії,
спеціаліст вищої категорії, «Харівська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Костянтин Маршупа, здобувач освіти,
«Харівська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Анна Сущенко, здобувачка освіти,
«Харівська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Вероніка Маршупа, здобувачка освіти,
«Харівська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ КОГЕНЕРАЦІЇ ПРИ ПЕРЕТВОРЕННІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Проведено комплексний аналіз процесів когенерації, що базується на поєднанні термоелектричних перетворювачів та систем концентрації сонячного випромінювання. Основну увагу приділено експериментальному підтвердженню можливості керування тепловими потоками через зміну електричного навантаження термоелемента. Запропоновано концепцію використання температурного градієнта перекачуваного теплоносія для стабільної генерації електроенергії в автономних системах.

Ключові слова: когенерація, термоелектричний генератор (ТЕГ), сонячний концентратор, активний тепловий клапан, керований тепловий опір, гібридні енергосистеми.

Abstract. A comprehensive analysis of cogeneration processes based on the combination of thermoelectric converters and solar radiation concentration systems has been conducted. Primary focus is placed on the experimental confirmation of the possibility of controlling heat flows by varying the electrical load of the thermoelement.

The concept of utilizing the temperature gradient of the pumped coolant for stable electricity generation in autonomous systems is proposed.

Keywords: cogeneration, thermoelectric generator (TEG), solar concentrator, active thermal valve, controlled thermal resistance, hybrid energy systems.

Процеси перетворення енергії в сучасних умовах вимагають пошуку рішень, що поєднують високий ККД та повну автономність. Сонце розглядається як найпотужніше джерело безкоштовної енергії, здатне забезпечити до одного кіловата потужності на кожний квадратний метр земної поверхні. Основним методом використання цього ресурсу є концентрація паралельних променів у фокальну точку за допомогою параболоїдних дзеркал, що дозволяє досягати досить високих температур.

Ефективність таких когенераційних систем прямо залежить від здатності керувати тепловими потоками. В основі дослідження лежить використання термоелектричних генераторів (ТЕГ), робота яких базується на ефектах Зеєбека та Пельтьє [1]. Якщо перший дозволяє отримувати електрику за рахунок різниці температур, то ефект Пельтьє відкриває можливість зворотного впливу: протікання струму через модуль викликає примусове перенесення теплової енергії між його сторонами. Це дозволяє розглядати термоелемент не просто як статичний перетворювач, а як активний тепловий клапан із керованим тепловим опором.

Для практичної перевірки теоретичних положень було розроблено випробувальний стенд на базі термоелектричного модуля SP1848-27145 [2] та мікроконтролерної системи Arduino. Система моніторингу була налаштована на безперервну фіксацію температурних показників з інтервалом у п’ять секунд, що дозволило детально простежити динаміку перехідних процесів. Експеримент проводився за низької температури навколишнього середовища, близько одного градуса Цельсія, що забезпечило стабільність зовнішніх умов та мінімізацію теплових завад.

Розробка експериментальної установки пройшла три етапи. Від першого варіанту з металевою ємністю відмовилися через її малий діаметр, який унеможливлював точні вимірювання пірометром. Другий варіант зі скляною тарою та водою також виявився невдалим через паразитне охолодження теплоносія неконтрольованими потоками від вентилятора та похибки через відбиття випромінювання. Зрештою було вирішено повністю відмовитися від рідини на користь прямого нагрівання гарячої сторони та локального вимірювання температури за допомогою термопар, закріплених безпосередньо на радіаторах. (рис. 1).

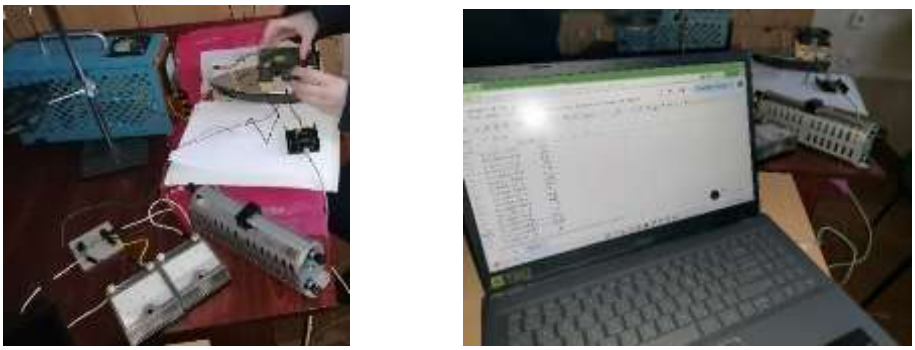


Рис. 1. Остаточний варіант лабораторної установки

Основна частина експерименту полягала у циклічному маніпулюванні електричним колом навантаження. Почергово перемикалась система між двома станами: роботою на номінальний опір у 6,5 Ом та режимом примусової інтенсифікації теплообміну з опором у 0,01 Ом, що фактично є станом короткого замикання. Встановлено, що в момент переходу до мінімального опору сила струму зростає до максимуму, активуючи інтенсивне перенесення тепла через ефект Пельтьє.

Результати вимірювань продемонстрували, що середня температура холодної сторони (радіатора) у режимі короткого замикання зросла з 13,02 °C до 13,87 °C. Таким чином, зафіксоване примусове підвищення температури на 0,85 °C стало прямим доказом можливості електронного керування тепловим потоком.

Статистичний аналіз отриманих масивів даних підтвердив високу достовірність результатів, оскільки довірчі інтервали для обох температурних режимів не мали спільних точок перетину. Також було зафіксовано, що реакція системи на зміну навантаження має аперіодичний характер, що зумовлено високою тепловою інерційністю конструкційних матеріалів (рис. 2).

Застосування результатів експерименту в сонячній енергетиці потребує врахування фізичних властивостей матеріалів приймача [3].

Синтез термоелектричних технологій та сонячних машин відкриває шлях до створення високоефективних автономних систем. Одним із найбільш перспективних напрямків є використання різниці температур перекачуваної рідини безпосередньо до моменту її нагрівання у фокусі та після нього. В таких установках, як сонячні водяні насоси, що працюють за рахунок фазового переходу води до пари, насоси Стирлінга, термоелементи можуть інтегруватися в контури циркуляції теплоносія.

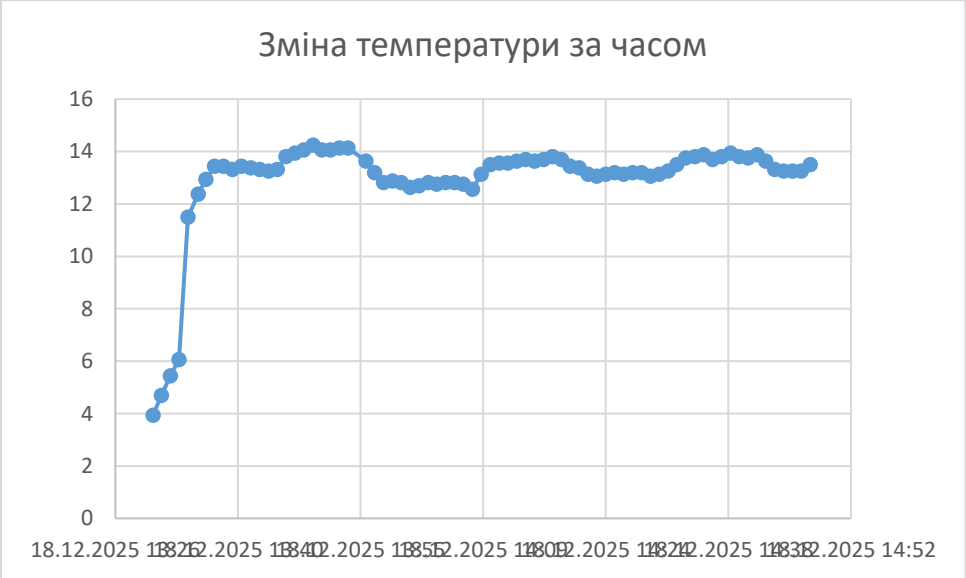


Рис. 2. Зміна температури холодної сторони ТЕГ при зміні електричного зовнішнього навантаження

Холодна вода, що надходить у систему, охолоджує одну сторону ТЕГ, тоді як гаряча рідина на виході з нагрівача забезпечує високу температуру іншої сторони

(рис. 3). Таке рішення гарантує підтримання максимального температурного градієнта, що веде до стабільного вироблення електроенергії для живлення систем автоматики та трекінгу. Водночас, згідно з принципами когенерації, джоулеве тепло та тепло, що переноситься ефектом Пельтьє, не втрачається, а йде на корисний підігрів води, що перекачується.

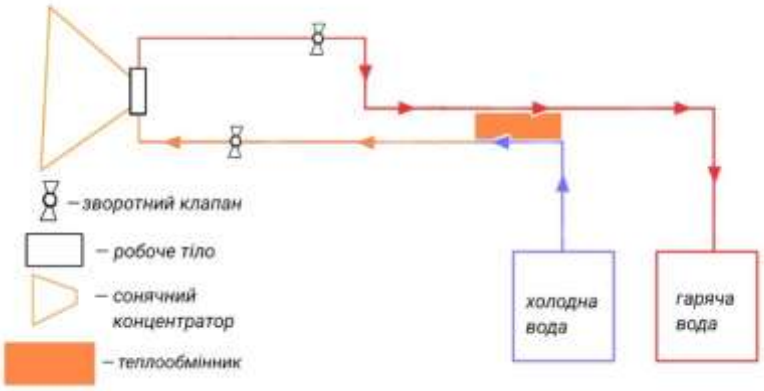


Рис. 3. Принципова схема когенераційної установки з ТЕГ

Додатково, впровадження алгоритмів Arduino дозволяє реалізувати функцію самодіагностики. Шляхом короткочасного перемикання навантаження та аналізу швидкості зміни температури система може самостійно оцінити якість теплового контакту модуля або ступінь забруднення концентратора, що значно спрощує обслуговування віддалених автономних вузлів.

Аналіз результатів досліджень та висновки. Теоретично та експериментально підтверджено, що зміна сили струму навантаження через ефект Пельтьє дозволяє примусово змінювати тепловий опір термоелектричного модуля. В той же час низька динаміка теплових процесів дозволяє використовувати прості та надійні алгоритми керування на базі доступних мікроконтролерів для оптимізації автономних енергетичних установок. Обґрунтовано доцільність створення гібридних систем, де генерація електрики відбувається за рахунок

різниці температур теплоносія до та після нагріву, що забезпечує стабільну роботу в режимі когенерації.

Список використаних джерел

1. Іоффе А. Ф. Напівпровідникові термоелементи. Л. : Вид-во АН СРСР, 1960.
2. Technical Specification of SP1848-27145 Thermoelectric Power Generator Module. Електронний ресурс. URL: http://www.thermonamic.com (дата звернення 02.05.2026).
3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.

УДК 517.9

Дмитро Штефан, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти механіко-математичного факультету,
Олександр Станжицький, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри загальної математики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ГЕНЕРАЛЬНОГО РОСТУ ПРИ МАЛИХ НЕЛІНІЙНИХ ЗБУРЕНЬ СТОХАСТИЧНИХ ЕВОЛЮЦІЙНИХ РІВНЯНЬ

Анотація. Розглянута система $dx = Axdt$ у сепарабельному гільбертовому просторі H з лінійною частиною, що породжується обмеженим оператором A на піввісі $t \geq 0$. Випадкове збурення задається Q-вінерівським процесом, а нелінійні доданки задовольняють умови глобальної ліпшицевості та асимптотичної малості. Встановлено, що за виконання цих умов, верхні середньоквадратичні показники Ляпунова розв'язків збуреної системи належать спектру лінійного оператора $Re(\sigma(A))$. Таким чином встановлено, що спектр Ляпунова не розширюється: нові асимптотичні значення поза межами лінійної динаміки не виникають.

Ключові слова: експоненційна дихотомія, Q-вінерівський процес, показник Ляпунова, спектр Ляпунова, стохастичне еволюційне рівняння, гільбертовий простір.

Abstract. We consider the stochastic evolution equation $dx = Ax\,dt$ in a separable Hilbert space H, whose linear part is generated by a bounded operator Aon the half-line $t \geq 0$. The stochastic perturbation is driven by a Q-Wiener process, while the nonlinear terms satisfy the assumptions of global Lipschitz continuity and asymptotic smallness. It is established that, under these assumptions, the upper mean-square Lyapunov exponents of solutions to the perturbed system belong to the spectrum $Re(\sigma(A))$ of the linear operator. Consequently, the Lyapunov spectrum does not expand: no new asymptotic values beyond those generated by the underlying linear dynamics arise.

Keywords: exponential dichotomy, Q-Wiener process, Lyapunov exponent, Lyapunov spectrum, stochastic evolution equation, Hilbert space.

Розглянемо збурене рівняння

$$dy(t) = \left[A\,y(t) + F\big(t, y(t)\big)\right]dt + G\big(t, y(t)\big)dW(t). \qquad (1)$$

На нелінійні доданки F і G накладаємо дві умови.

Умова 1 (H1). Глобальна ліпшицевість. Існує стала L > 0 така, що для всіх $t \geq 0$ та всіх $y_1, y_2 \in H$

$$\|F(t, y_1) - F(t, y_2)\| + \|G(t, y_1) - G(t, y_2)\|_{HS} \leq L\|y_1 - y_2\|. \quad (2)$$

Умова 2 (H2). Асимптотична малість. Існує функція $\varepsilon : [0, \infty) \to [0, \infty)$, для якої $\varepsilon(t) \to 0$ при $t \to \infty$, і

$$\|F(t, y)\| + \|G(t, y)\|_{HS} \leq \varepsilon(t)\|y\|, \quad t \geq 0, y \in H. \quad (3)$$

Верхній показник Ляпунова і спектр Ляпунова

Нехай $y(t; y_0)$ — mild-розв'язок рівняння (1) з детермінованими початковими даними $y_0 \in H$. Верхній середньоквадратичний показник Ляпунова визначається формулою

$$\lambda(y_0) = \frac{1}{2} \limsup_{t\to\infty} (1/t) \ln E\|y(t; y_0)\|^2 . \quad (4)$$

Зазначимо, що для лінійної системи $y'(t)=Ay(t)$ це означення збігається зі звичайним показником Ляпунова траєкторії.

Під спектром Ляпунова $\sum=\{\lambda(y_0)| y_0 \epsilon H\}$ розуміємо множину всіх можливих асимптотичних показників росту розв'язків системи.

Теорема. Нехай виконуються умови $(H1)$–$(H2)$. Тоді для довільного mild-розв'язку $y(t; y_0)$рівняння (1) відповідний верхній середньоквадратичний показник Ляпунова належить спектру оператора A, тобто

$$\bar{\lambda}(y_0) \in Re(\sigma(A)).$$

Зазначимо, що протилежна умова не є гарантованою. При певних стохастичних збуреннях $\sum \neq Re(\sigma(A))$, результат гарантує лише $\sum \subset Re(\sigma(A))$.

Список використаних джерел

1. Daleckii J. L., Krein M. G. Stability of Solutions of Differential Equations in Banach Space. Providence: American Mathematical Society, 1974.
2. Da Prato G., Zabczyk J. Stochastic Equations in Infinite Dimensions. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
3. Shtefan D., Stanzhytskyi O., Kushnirenko S. Preservation of Mean-Square Lyapunov Exponents for Nonautonomous Stochastic Evolution Equations. *Axioms*. 2026. Vol. 15, No. 5. Art. 307. https://doi.org/10.3390/axioms15050307

УДК 517.977 + 519.685

Роксолана Лахва**,** здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна
Вікторія Могильова**,** кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Національний технічний університет України
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна

ЛІНІЙНА ЗА КЕРУВАННЯМ ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НА СКІНЧЕННОМУ ІНТЕРВАЛІ ТА ВІДПОВІДНА УСЕРЕДНЕНА ЗАДАЧА НА ПІВОСІ

Анотація. У роботі розглянуто задачу оптимального керування для лінійної за керуванням інтегро-диференціальної системи зі швидкоосцилюючими параметрами. Головним результатом є обґрунтування методу усереднення, за допомогою якого точна задача оптимального керування на півосі апроксимується відповідною усередненою задачею на скінченному відрізку $[0,T]$ при $T \to \infty$ та прямуванні малого параметра $\varepsilon \to 0$. Доведено теорему про граничний зв'язок між ними: встановлено збіжність мінімумів функціоналів якості, сильну збіжність оптимальних траєкторій та слабку збіжність оптимальних керувань.

Ключові слова: оптимальне керування, метод усереднення, інтегро-диференціальні системи, апроксимація задач, збіжність розв'язків.

Abstract. The paper considers an optimal control problem for an integro-differential system with fast-oscillating parameters. The main result is the justification of the averaging method, where the exact optimal control problem on the half-axis is approximated by the corresponding averaged problem on a finite interval $[0,T]$ as $T \to \infty$ and the small parameter $\varepsilon \to 0$. A theorem on the limit connection between them is proved, establishing the convergence of the cost functionals, the strong convergence of optimal trajectories, and the weak convergence of optimal controls.

Keywords: Optimal control, averaging method, integro-differential systems, problem approximation, convergence of solutions.

Розглядається задача керування зі швидкоосцилюючими параметрами, що є лінійною за керуванням

$$\dot{x}_\varepsilon = f\left(\frac{t}{\varepsilon}, x_\varepsilon(t), \int_0^t \varphi\big(t,s,x_\varepsilon(s)\big)ds\right) + f_1(x_\varepsilon(t))u(t), \qquad (1)$$

$$x_\varepsilon(0) = x_0,$$

з критерієм якості

$$I_\varepsilon[u] = \int_0^\infty \left[A\left(t, x_\varepsilon(t)\right) + B\left(t, u(t)\right)\right]dt + \Phi(x_\varepsilon(T)) \to inf \qquad (2)$$

Задачу (1), (2) на півосі апроксимуємо розв'язками усереднених задач керування на відрізку $[0,T]$, при $T \to \infty$. Тут $\varepsilon > 0$ – малий параметр, x – вектор стану в $\mathbb{R}^d$, $u(t)$ — m-вимірний вектор керування.

Якщо наступна границя існує рівномірно за $x \in \mathbb{R}^d$:

$$\lim_{\varepsilon \to 0} \int_0^t \left| f\left(\frac{\tau}{\varepsilon}, x, \varphi_1(t,x)\right) - f_0(x)\right| d\tau = 0, \qquad (3)$$

де $\varphi_1(t,x) = \int_0^t \varphi(t,s,x)ds, \qquad t,s \in [0,T]$.

Нехай $(x_\varepsilon^*(t), u_\varepsilon^*(t))$ розв`язок задачі (1), (2) на півосі. Зафіксуємо $T > 0$ і розглянемо усереднену задачу

$$\dot{\xi} = f_0(\xi) + f_1(\xi)\, u(t),\ \xi(0) = x_0, \qquad (4)$$

із критерієм якості

$$I_{0T}[u] = \int_0^T \left[A\left(t, \xi(t)\right) + B\left(t, u(t)\right)\right]dt + \Phi(\xi(T)) \to inf \qquad (5)$$

на відрізку $[0,T]$. Тоді з Теореми 3.3 [1] випливає, що ця задача має розв'язок (ξ_T^*, u_T^*) на $[0,T]$.

Для задачі (4) визначимо допустиме керування на $[0,\infty)$ наступним чином

$$\bar{u}_{T,\infty}(t) = \begin{cases} u_T^*(t), & t \in [0,T], \\ 0, & t > T, \end{cases}$$

а через $\xi_{T,\infty}$ позначимо відповідну даному керуванню допустиму траєкторію.

Для коректності задачі припускається виконання таких умов.

Умова 1. Допустиме керування—це m-вимірна вектор-функція $u(\cdot) \in L^p((0,T);V), p > 1$, яка набуває значень у замкненій опуклій множині $V \subset \mathbb{R}^m$;

Умова 2. $f(t,x,y)$ визначена й неперервна за сукупністю змінних в $Q_0 = \{t \geq 0, x \in \mathbb{R}^d, y \in \mathbb{R}^n\}$ та виконуються умови лінійного росту та Ліпшиця.

Умова 3. Функція $\varphi(t,s,x)$ визначена та неперервна в області $Q_1 = \{t \in [0,T], s \in [0,T], x \in \mathbb{R}^d\}$ набуває значень у просторі $\mathbb{R}^n$ та задовольняє умови лінійного росту та умову Ліпшиця відносно x.

Умова 4. Рівномірно за $x \in \mathbb{R}^d$ існує границя (3).

Умова 5. Скалярні функції $A(t,x), B(t,u)$ визначені при $t \in [0,T], x \in \mathbb{R}^d, u \in W$, і неперервні за сукупністю змінних, при цьому:

1) $A(t,x) \geq 0$, $B(t,u) \geq a|u|^p$ з деякою сталою $a > 0$ для всіх $t \in [0,T]$, а функція $B(t,u)$ опукла за $u \in W$;

2) Функція Ф: $\mathbb{R}^d \to \mathbb{R}$ невід'ємна та неперервна за x.

Позначимо $I_\varepsilon^* = \inf\limits_{\text{u}} I_\varepsilon[u]$, $I_{0T}^* = \inf\limits_{\text{u}} I_{0T}[u]$, де інфімум береться за всіма допустимими керуваннями.

Теорема. Нехай виконуються Умови 1-5. Тоді

1) $|I_\varepsilon^* - I_{0T}^*| \to 0$ при $\varepsilon \to 0$, $T \to \infty$;

2) існують послідовності $T_n \to \infty$, $\varepsilon_n \to 0$, такі, що для будь-якого $t > 0$ виконується

$$|x_{\varepsilon_n}^*(t) - \xi_{T_n,\infty}(t)| \to 0,\ T_n \to \infty,\ \varepsilon_n \to 0; \qquad (6)$$

3) $$|u_{\varepsilon_n}^*(t) - \bar{u}_{T_n,\infty}(t)| \rightharpoonup 0,\ T_n \to \infty,\ \varepsilon_n \to 0; \qquad (7)$$

слабко в $L^p(0,\infty)$.

Якщо при цьому усереднена задача (4), (5) має єдиний розв'язок, то збіжність у (6), (7) має місце при всіх $T \to \infty$.

Список використаних джерел

1. Stanzhytskyi O., Lakhva R., Mogylova V. The averaging method for optimal control problems of integro-differential systems on the half-axis. *Memoirs on Differential Equations and Mathematical Physics*. 2026. V. 97. P. 169-182.

УДК 517.9

Світлана Кушніренко**,** кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри загальної математики механіко-математичного факультету,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна

АПРОКСИМАЦІЯ СТОХАСТИЧНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПУ З ЗАПІНЕННЯМ СИСТЕМАМИ РІВНЯНЬ БЕЗ ЗАПІЗНЕННЯ

Анотація. В даній роботі доведено лему про модуль неперервності для стохастичного диференціального рівняння нейтрального типу з запізненням та з допомогою неї наведено апроксимаційну схему рівнянь без запізнення для стохастичного диференціального рівняння нейтрального типу за допомогою систем рівнянь без запізнення та доведено, що дана схме дійсно є апроксимуючою в середньому квадратичному для вихідного рівняння.

Ключові слова: диференціальне рівняння, нейтральний тип, апроксимаційна система, м’який розв’язок, запізнення, задача Коші.

Annotation. In this work we prove continuity module lemma for stochastic neutral type differential equation with delay and, using this we provide approximation system without delay for stochastic neutral type differential equation. Next, we prove that provided system, in fact, is approximation system in mean square.

Keywords: differential equation, neutral type, approximation system, weak solution, delay, limit problem.

В цій роботі ми досліджуємо апроксимаційні схеми для стохастичного диференціального рівняння нейтрального типу із запізненням в гільбертових просторах вигляду

$$d\left(u(t) - g\big(u(t), u(t-h)\big)\right) = \left(Au(t) + f\big(u(t-h), u(t)\big)\right)dt +$$

$$+\sigma(u(t-h), u(t)dW(t), t\epsilon[0,T],$$

$$u(t) = \phi(t), t\epsilon[-h, 0]$$

Тут A – необмежений оператор, що є генератором сильно неперервної напівгрупи $[S(t), t \geq 0]$ обмежених лінійних операторів у сепарабельному гільбертовому просторі H. Випадковий шум $W(t)$ є Q-вінерівським процесом у

сепарабельному гільбертовому просторі K. Для деякого $h > 0$ позначимо $C_h := C([-h, 0], H)$ простір неперервних H-значних функцій $\phi[-h, 0] \longrightarrow H$ з нормою

$$\left|\left|\phi\right|\right|_{C_H} := \sup_{\theta\epsilon[-h,0]}\left|\left|\phi(\theta)\right|\right|_{\mathrm{H}}$$

Норму $||\ ||_H$ будемо позначати як $||\ ||$. Розв'язок $u(t)$ вихідного рівняння розглядається у м'якому сенсі. Функції f, g відображають $H \times H$ в H, а $\sigma := H \longrightarrow L_2^0$, де $L_2^0 = L(Q^{\frac{1}{2}} K, H)$ - простір операторів Гільберта-Шмідта з $Q^{\frac{1}{2}} K$ в H. Нарешті, $\phi: [-h, 0] \times \Omega \longrightarrow H$ - початкова функція, де (Ω, F, P) повний ймовірнісний простір.

A - необмежений лінійний оператор з $D(A)$ в H, що є інфінітезимальним генератором аналітичної напівгрупи операторів $S(t) = e^{At}$ - обмежених в H. З [1] це еквівалентно тому, що $(-A)$ секторіальний оператор.

Ми припускаємо, що $S(t)$ є напівгрупою компактних операторів при $t > 0$, тому з [2] випливає, що напівгрупа є неперервною у рівномірній операторній топології при $t > 0$.

З [2] також отримуємо, що для всіх $\alpha\epsilon(0,1)$ дробова степінь оператора $(-A)^\alpha$ є замкненим лінійним оператором в області визначення $D((-A)^\alpha)$.

Позначимо H^α гільбертів простір $D((-A)^\alpha)$ оснащений нормою

$$\|u\|_\alpha := \|(-A)^\alpha u\|$$

Розв'язок вихідного рівняння буде мо розглядати м'якому сенсі:

Означення 1: Неперервний F_t узгоджений стохастичний процес $u: [-h, T] \times \Omega \longrightarrow H$ називається м'яким розв'язком для початкового рівняння на $t\epsilon[0, T]$**,** якщо він задовольняє наступне інтегральне рівняння

$$u(t) = S(t)\left(\phi(0) - g\big(\phi(0)\big)\right) + g\big(u(t-h)\big) - \int AS(t-s)g\big(u(s-h)\big)ds +$$

$$+ \int S(t-s)f\big(u(s), u(s-h)\big)ds + \int S(t-s)\sigma\big(u(s), u(t-s)\big)dW(s),$$

і $u(t) = \phi(t)$ майже напевно для $t\epsilon[-h, 0]$.

Для доведення існування і єдиності розв'язку накладемо наступні умови на оператор A та відображення f, σ, g.

1) Якщо $\sigma(-A)$ це спектр оператора $(-A)$, тоді маємо, що $Re\ \sigma(-A) > \delta > 0$, і A утворює напівгрупу компактних операторів $S(t)$ в H при $t > 0$.

2) Для всіх $u, \mathrm{v}, u_1, \mathrm{v}_1 \epsilon H$ маємо

$$\|f(u,\mathrm{v}) - f(u_1,\mathrm{v}_1)\| \le L(\|u-u_1\| + \|\mathrm{v}-\mathrm{v}_1\|),$$

і

$$\|\sigma(u,\mathrm{v}) - \sigma(u_1,\mathrm{v}_1)\|_{L_0^2} \le L(\|u-u_1\| + \|\mathrm{v}-\mathrm{v}_1\|).$$

3) Для всіх $u, \mathrm{v}, u_1, \mathrm{v}_1 \epsilon H$ і для кожного $\alpha\epsilon(1/2,1)$ функція g задовольняє нерівність

$$\|g(u,\mathrm{v}) - g(u_1,\mathrm{v}_1)\|_\alpha \le M_g(\|u-u_1\| + \|\mathrm{v}-\mathrm{v}_1\|),$$

для деякого $M_g \epsilon (0,1/2\sqrt{2})$.

Нескладно помітити, що з умови 2 випливає лінійний ріст для f, σ в H а з умови 3 випливає лінійний ріст g в H^α.

З джерел [3] і [4] випливає, що якщо умови 1-3 справджуються, то вихідне рівняння має єдиний на $[0,T]$ м'який розв'язок в сенсі означення 1, з обмеженим p-тим моментом ($p \ge 1$).

Ключовим моментом для подальшого розгляду є наступна лема.

Лема 1(Лема про модуль неперервності): якщо умови 1-3 виконуються, тоді для розв'язку вихідного рівняння $u(t)$ справджується наступна оцінка

$$\sup_{t_1\epsilon[-h,T]} E \sup_{t_2\in[t_1,t_1+l]} \|u(t_2)-u(t_1)\|^2 \le C(T, \|\phi\|_{C_h}, 1) \longrightarrow 0{,}1 \longrightarrow 0.$$

Введемо наступну систему рівнянь без запізнень

$$\begin{cases} d\left(z_0(t) - g\big(z_0(t), z_m(t)\big)\right) = \left(Az_0 + f\big(z_0(t), z_m(t)\big)\right)dt + \sigma\big(z_0(t), z_m(t)\big)dW(t), \\ dz_j(t) = m/h(z_{j-1}(t) - z_j(t)), t\epsilon[0,T], \\ z_j(0) = \phi(-h/m * j), j = 0 \dots m. \end{cases}$$

Означення 2: Наведена вище система називається апроксимуючою для вихідного рівняння в середньому квадратичному якщо

$$\sup_{t\epsilon[0,T]} E\left\|u(t-h/m*j)-z_j(t)\right\|^2 \longrightarrow 0, m \longrightarrow \infty, j=0 \ldots m.$$

Використовуючи лему 1 можемо довести наступну теорему, що і є головним результатом роботи:

Теорема 1(Про апроксимуючу систему): якщо умови 1-3 виконуються, наведена вище система є апроксимуючою для вихідного рівнння в сенсі означення 2.

Список використаних джерел

1. Henry D. Geometric theory of Semilinear Parabolic Equations, volume 840 of Lecture Notes in Mathematics. Springer-Verlag. Berlin-New York. 1981.
2. Pazy A. Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Differential Equations. Springer-Verlag. New York. 1983.
3. Misiats O., Stanzhytskyi O., Yip N.K. Asymptotic analysis and homogenization of invariant measure. *Stochastics and Dynamics*. 2019. Vol. 19, No. 2. P. 1-28. DOI: http://dx.doi.org/10.1142/S0219493719500151

УДК 517.5

Валентин Кропива, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
Костянтин Жигалло, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ПРО ВИКОРИСТАННЯ СИМВОЛІКИ ЛАНДАУ В ЗАДАЧАХ КОЛМОГОРОВА-НІКОЛЬСЬКОГО

Анотація. У роботі досліджено застосування символіки Ландау для опису асимптотичної поведінки похибок апроксимації у задачах Колмогорова-Нікольського для інтегралів Пуассона-Чебишова на класах функцій Гельдера. Отримано асимптотичні оцінки величини відхилення та встановлено характер збіжності наближувальних процесів.

Ключові слова: символіка Ландау, задача Колмогорова-Нікольського, інтеграли Пуассона-Чебишова, апроксимація функцій, класи Гельдера.

Abstract. The paper investigates the application of Landau symbols to describe the asymptotic behavior of approximation errors in Kolmogorov-Nikolskii problems for Poisson-Chebyshev integrals on Hölder function classes. Asymptotic estimates of the deviation value are obtained, and the convergence behavior of the approximation processes is established.

Keywords: Landau symbols, Kolmogorov-Nikolskii problem, Poisson-Chebyshev integrals, approximation of functions, Hölder classes.

У сучасній теорії наближення функцій важливе місце займають задачі дослідження асимптотичної поведінки похибок апроксимації. Одним із ефективних засобів аналізу швидкості збіжності наближувальних процесів є символіка Ландау, яка дозволяє формалізувати оцінки залишкових членів та встановлювати порядок малості похибок. Особливий інтерес становлять задачі Колмогорова-Нікольського для інтегралів Пуассона-Чебишова на класах функцій Гельдера, де досліджуються асимптотичні властивості величини відхилення між функцією та її наближенням. Використання символів O та o дає можливість отримувати точні асимптотичні співвідношення та характеризувати ефективність наближувальних методів.

Розглянемо клас Гельдера H^α [1] функцій ϕ, заданих на сегменті $[-1;1]$ і які задовольняють на цьому сегменті умову: $|\phi(t_1) - \phi(t_2)| \le |t_1 - t_2|^\alpha \quad \forall t_1, t_2 \in [-1,1], \quad 0 < \alpha \le 1$.

Нехай

$$\hat{T}_0(x) = \sqrt{\frac{1}{\pi}}, \hat{T}_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos k \arccos x, k \in N,$$

ортонормована з вагою $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ на $[-1,1]$ система поліномів Чебишова першого роду. Для кожної неперервної функції ϕ позначимо

$$\nu_k = \nu_k(\phi) = \int_1^{-1} \frac{\phi(p)\hat{T}_k(p)}{\sqrt{1-p_2}} dt$$

послідовність коефіцієнтів Фур'є функції ϕ за системою $\hat{T}_k(t)$ [2].

Нескінченний ряд $\sum_{k=0}^{\infty} \nu_k \hat{T}_k$ називають рядом Фур'є-Чебишова функції ϕ.

За допомогою множини $\Lambda = \lambda_r(k)$ функцій натурального аргумента, залежних від дійсного параметра $r,\ 0 \le r < 1,\ \lambda_r(0) = 1,$ кожної неперервної на $[-1,1]$ функції ϕ поставимо у відповідність ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} \lambda_r(k) \nu_k \hat{T}_k(2), 0 \le r < 1. \tag{1}$$

Нехай ряд (2) при всіх $0 \le r < 1$ буде рядом Фур'є-Чебишова деякої неперервної функції. Якщо $\lambda_r(k) = r^k, r = 0, 1, 2, \ldots,$ то цю функцію будемо позначати $P_r(\phi; t; T)$.

Розглянемо величину

$$\Delta(H^\alpha; P_r; t) = \sup_{\phi \in H^\alpha} |\phi(x) - P_r(\phi; t; T)| \tag{2}$$

в кожній точці $t \in [-1,1]$ при $r \to 1-,\ 0 < \alpha \le 1$.

Якщо у явному вигляді знайдена функція $f(r) = f(r;t)$ така, що при $r \to 1-$

$$\Delta(H^\alpha; P_r; t) = f(r;t) + o(f(r;t)), t \in [-1,1],$$

то будемо казати, що розв'язана задача Колмогорова-Нікольського для інтегралів Пуассона-Чебишова P_r класу $H^\alpha, 0 < \alpha \le 1$.

Наступне твердження встановлює асимтотичну поведінку величини (3), надаючи розв'язання задачі Колмогоровова-Нікольського для інтегралів Пуассона-Чебишова $P_r(\phi;t;T)$ у класі $H^\alpha, 0<\alpha\leq 1$.

Для будь-якого $0<\alpha<1$ в кожній точці $t\in[-1,1]$ при $r\to 1-$ справедлива рівність

$$\Delta(H^\alpha;P_r;t)=\frac{(1-r)^\alpha}{\cos\alpha\pi 2}(1-t^2)^{\frac{\alpha}{2}}+O(\xi(r;\alpha))(1-t^2)^{\frac{\alpha}{2}}+O(\mu_(r;\alpha)(t)),$$

$$\xi(\rho,\alpha)=\begin{cases}(1-r)^{3\alpha}, & \alpha<\frac{1}{3},\\ (1-r)ln\frac{1}{1-r}, & \alpha=\frac{1}{3},\\ 1-r, & \alpha>\frac{1}{3}\end{cases}\qquad \mu(r;\alpha)(x)=\begin{cases}(1-r)^{2\alpha}|t|^\alpha, & \alpha<\frac{1}{2},\\ (1-r)\sqrt{|t|}ln\frac{1}{1-r}, & \alpha=\frac{1}{2},\\ (1-r)|t|^\alpha, & \alpha>\frac{1}{2}.\end{cases}$$

Список використаних джерел

1. Dzyadyk V. K., Shevchuk I.A. Theory of Approximation of Functions. Berlin; New York : De Gruyter, 2008. 403 p.
2. Paszkowski S. Zastosowania numeryczne wielomianów i szeregów Czebyszewa. Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1975. 480 s.

УДК 517.44

Любомир Луцюк, здобувач вищої освіти
факультету інформаційних технологій і математики,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ГАНКЕЛЯ

Анотація. У роботі досліджено застосування інтегрального перетворення Ганкеля до розв'язання крайових задач математичної фізики, що мають осьову симетрію. Показано, що використання цього методу дозволяє ефективно виключати диференціальні операції за радіальною змінною з рівнянь, лапласіан яких записано в циліндричних координатах. Наведено практичний приклад знаходження потенціалу, утвореного плоским круглим наелектризованим диском.

Ключові слова: інтегральні перетворення, перетворення Ганкеля, математична фізика, осьова симетрія, циліндричні координати, функція Бесселя.

Abstract. The paper investigates the application of the Hankel integral transform to solving boundary value problems of mathematical physics with axial symmetry. It is shown that the use of this method allows effectively eliminating differential operations with respect to the radial variable from equations whose Laplacian is written in cylindrical coordinates. A practical example of finding the potential generated by a flat circular electrified disk is given.

Keywords: integral transforms, Hankel transform, mathematical physics, axial symmetry, cylindrical coordinates, Bessel function.

При моделюванні реальних фізичних процесів часто виникають задачі, які характеризуються просторовою симетрією. Перетворення Ганкеля зручно застосовувати до розв'язання задач, що мають осьову симетрію. У таких випадках доцільно використовувати циліндричні координати: $x = r\cos\varphi\,, y = r\sin\varphi\,, z = z.$

Якщо інтеграл $\int_0^{+\infty} |f(r)|\sqrt{r}\,dr$ збіжний, а функція $f(r)$ має обмежену варіацію, то перетворення Ганкеля порядку ν для функції $f(r)$ задається співвідношенням:

$$\hat{f}(\tau) = \int_0^{+\infty} f(r) J_\nu(\tau r) r dr, \quad (0 \le \tau < \infty)$$

де J_ν — функція Бесселя 1-го роду. Формула обернення для цього перетворення має вигляд:

$$f(r) = \int_0^{+\infty} \hat{f}(\tau) J_\nu(\tau r) \tau d\tau, \ \ (0 \le r < \infty)$$

Оператор Лапласа в циліндричних координатах має вигляд:

$$\Delta = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial^2 \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial^2 z^2}$$

Головна перевага застосування перетворення Ганкеля полягає в тому, що воно дозволяє виключати диференціальні операції за змінною r із рівнянь, у яких лапласіан записано у наведеній вище формі. Це зводить диференціальне рівняння в частинних похідних до значно простішого звичайного диференціального рівняння в просторі зображень.

Ефективність методу можна продемонструвати на класичній задачі теорії потенціалу – знаходженні потенціалу, утвореного наелектризованим диском радіуса, що дорівнює одиниці. Якщо початок координат умістити в центр диска, а вісь Oz спрямувати вздовж його осі, виникає потреба розв'язати рівняння Лапласа $\Delta V = 0$. Зважаючи на симетрію поля щодо площини $z = 0$, крайові умови мають вигляд: $V = V_0$ при $0 \le r < 1, \ z = 0$, та $\frac{\partial V}{\partial z} = 0$ при $r > 1, \ z = 0$.

Застосувавши до цього рівняння інтегральне перетворення Ганкеля та використавши властивості функції Бесселя, ми одержимо в класі зображень просте рівняння:

$$\frac{\partial^2 \hat{V}}{\partial z^2} = \rho^2 \hat{V}$$

Оскільки потенціал має дорівнювати нулеві на нескінченності $(z \to \infty)$, розв'язком цього рівняння є функція $\hat{V} = A(\rho)e^{-\rho z}$. Після застосування формули обернення перетворення Ганкеля та використання крайових умов, отримаємо парні інтегральні рівняння, розв'язання яких дає аналітичний розв'язок задачі.

Отже, застосування інтегрального перетворення Ганкеля є потужним аналітичним інструментом для задач із циліндричною геометрією. Воно суттєво спрощує процес знаходження розв’язків шляхом зниження мірності задачі та усунення складних просторових похідних.

Список використаних джерел

1. Банах С. С. Курс функціонального аналізу. Київ : Радянська школа, 1947. 216 с.
2. Вірченко Н. О. Узагальнені інтегральні перетворення. Київ : Задруга, 2013. 397 с.

СЕКЦІЯ 2.
ІННОВАЦІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ НАУК

УДК. 621.436:621.43.038:662.756:620.172

Дмитро Журавель, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатації та технічного сервісу машин,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ РОБОТІ НА БІОПАЛЬНОМУ

Анотація. В роботі розглянуто методологічні принципи забезпечення надійності паливних систем дизельних двигунів при роботі на біопаливі. Проаналізовано вплив фізико-хімічних властивостей біопалив на працездатність елементів паливної апаратури. Запропоновано методологічні підходи до підвищення довговічності та ефективності роботи дизелів шляхом оптимізації режимів подачі палива, удосконалення систем фільтрації та застосування сучасних матеріалів із підвищеною зносостійкістю.

Ключові слова: методологічні принципи, паливні системи, дизельні двигуни, підвищення довговічності, працездатність, біопаливо.

Abstract. The paper considers methodological principles for ensuring the reliability of diesel engine fuel systems when operating on biofuels. The influence of the physicochemical properties of biofuels on the performance of fuel equipment elements is analyzed. Methodological approaches are proposed to increase the durability and efficiency of diesel engines by optimizing fuel supply modes, improving filtration systems, and using modern materials with increased wear resistance.

Keywords: methodological principles, fuel systems, diesel engines, increasing durability, performance, biofuels.

Сучасні системи впорскування, розраховані на вузький діапазон фізико-хімічних властивостей нафтового дизельного палива, демонструють суттєве зниження ресурсу при переході на відновлювальні джерела. Головними дестабілізуючими факторами є підвищена в’язкість біопалив, їхня хімічна агресивність до еластомерів, схильність до окислення та гігроскопічність. Це

призводить до інтенсифікації процесів зношування прецизійних деталей, порушення гідродинамічних параметрів паливоподачі та закоксовування розпилювачів, що зрештою деформує характеристики згоряння та знижує загальну ефективність двигуна.

Першим методологічним принципом дослідження цієї проблеми є системний підхід, згідно з яким паливна апаратура розглядається як динамічна ланка в ланцюзі «паливо – конструкція – робочий процес». Це вимагає переходу від простої реєстрації відмов до аналізу причинно-наслідкових зв’язків між молекулярною структурою палива та кінетикою деградації поверхонь тертя. Другий принцип базується на детермінованості фізичних процесів, що передбачає глибоке вивчення трибологічних характеристик і гідравлічних втрат, зумовлених зміною густини та стисливості альтернативних палив. Важливе місце посідає принцип імітаційного моделювання, який дозволяє за допомогою математичних методів прогнозувати залишковий ресурс вузлів без проведення дороговартісних довготривалих випробувань.

Крім того, методологія має спиратися на принцип адаптивності, який передбачає не лише пасивну оцінку зносу, а й активне керування надійністю через коригування конструкційних параметрів, використання нових антикорозійних покриттів та оптимізацію алгоритмів електронного керування для компенсації нижчої теплоти згоряння біопалива. Кінцевою метою такої методологічної бази є створення умов, за яких імовірність безвідмовної роботи системи на альтернативних паливах буде не нижчою за показники традиційних систем, що дозволить забезпечити економічну доцільність переходу на «зелені» технології без втрати технічного потенціалу дизельних двигунів. Вирішення цієї проблеми вимагає об’єднання зусиль у сферах хімотології, гідравліки та теорії надійності машин для створення універсальних стандартів експлуатації техніки на багатокомпонентних паливних сумішах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про стійке зростання інтересу наукової спільноти до проблеми адаптації дизельних двигунів до альтернативних палив, проте питання довготривалої надійності паливної апаратури залишається дискусійним [1]. Сучасні розвідки вітчизняних та зарубіжних вчених концентруються на вивченні впливу метилових етерів жирних кислот на зношування прецизійних деталей, причому результати часто є суперечливими: з одного боку, відзначається покращення змащувальної здатності біопалив порівняно з малосірчистим дизельним пальним, а з іншого – фіксується інтенсивна корозія та ерозія поверхонь через підвищену гігроскопічність та наявність залишків каталізаторів. Значна частина робіт присвячена проблемі закоксовування отворів розпилювачів та утворення відкладень на голках форсунок, що науковці пов’язують з низькою термічною стабільністю біокомпонентів, яка призводить до полімеризації палива безпосередньо в зоні високих температур [2]. Останні дослідження у сфері систем Common Rail вказують на критичну чутливість електрогідравлічних форсунок до мікроскопічних відкладень, відомих як внутрішні відкладення в інжекторах (IDID), які спричиняють зависання клапанів та порушення дозування. Водночас ряд авторів фокусується на розробці та випробуванні багатофункціональних присадок, що мають нівелювати негативний вплив біопалива, проте системних методологій, які б дозволяли прогнозувати сумарний ресурс системи за комбінованого впливу корозійних, абразивних та гідродинамічних факторів, досі бракує [3]. Дослідники також звертають увагу на перспективність використання гідроочищених рослинних олій (HVO) як більш стабільної альтернативи класичному біодизелю, проте висока вартість їх виробництва залишає актуальним питання експлуатації техніки на сумішевих паливах першого покоління. Таким чином, попри глибоке вивчення окремих аспектів хіммотології та трибології, у сучасній науковій літературі спостерігається дефіцит комплексних методологічних підходів до оцінки надійності паливних

систем як єдиного механізму, що функціонує в умовах нестабільного хімічного складу палива [4].

Основними матеріалами дослідження є комплекс технічних засобів, зразків палив та аналітичного інструментарію, що дозволяють об’єктивно оцінити зміну надійності паливної апаратури в специфічних умовах експлуатації. До об’єктів безпосереднього вивчення належать вузли та деталі систем упорскування дизелів, зокрема паливні насоси високого тиску, форсунки з різними типами розпилювачів та елементи систем Common Rail, що піддаються найбільшому навантаженню. Як робочі середовища у дослідженні використовуються контрольні зразки традиційного нафтового дизельного палива, що відповідає чинним стандартам якості, а також експериментальні суміші з різним вмістом біокомпонентів, таких як метилові етери жирних кислот рослинних олій або гідроочищені рослинні жири [5]. Важливою складовою матеріальної бази є стендове обладнання, що включає паливні безпосередні стенди, оснащені системами термостатування палива та прецизійними датчиками тиску і витрати, а також випробувальні установки для проведення прискорених ресурсних тестів. Для аналізу фізичного стану деталей використовуються методи растрової електронної мікроскопії, що дозволяють зафіксувати мікротріщини та осередки корозії, профілометри для вимірювання шорсткості прецизійних поверхонь та аналітичні ваги для визначення вагового зносу елементів. Інформаційну основу матеріалів дослідження доповнюють протоколи випробувань фізико-хімічних властивостей паливних сумішей, включаючи показники кінематичної в’язкості, змащувальної здатності та окислювальної стабільності. Математичний апарат дослідження базується на масивах експериментальних даних, отриманих під час імітаційного моделювання процесів зношування, що в сукупності з нормативно-технічною документацією та результатами експлуатаційних спостережень дозволяє сформувати цілісну картину деградації технічного стану паливної системи при роботі на альтернативних видах палива [6].

На схемі відображено комплексний підхід, що охоплює весь життєвий цикл системи: від дослідження властивостей палива та модернізації конструкції до контроля якості, технічного обслуговування, моніторингу параметрів та аналізу відмов (рис. 1).

Таким чином, використання цього принципу перетворює перехід на біодизель з «гри в рулетку» на прогнозований інженерний процес. Замість того, щоб чекати поломки всієї системи, ви заздалегідь знаходите елемент, який найшвидше здасться під впливом біопалива (зазвичай це ущільнювачі або фільтри), і превентивно його модернізуєте.

Рис. 1. Методологічні принципи надійності паливних систем при роботі на біодизелі

Забезпечення надійності паливних систем при використанні біодизеля базується на комплексному врахуванні його фізико-хімічних особливостей, що впливають на матеріали, процеси впорскування та експлуатаційні умови. Методологічно це передбачає адаптацію конструкції системи, підвищення вимог до чистоти та якості палива, впровадження ефективних методів контролю води і

мікробіологічної стабільності, а також удосконалення технічного обслуговування. Лише системний підхід, що поєднує матеріалознавчі, технологічні та експлуатаційні рішення, дозволяє забезпечити довговічність і стабільну роботу паливної апаратури при використанні біодизельного палива.

Список використаних джерел

1. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 1. 19 с. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-10
2. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. *Серія: техніка та енергетика АПК.* 2018. Вип. 282. С. 279-292.
3. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.
4. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних пальних. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91-107.
5. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 57-68.
6. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.

УДК 515.2

Євген Гавриленко, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Галина Антонова, старший викладач кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ОГЛЯД ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Системи автоматизованого проєктування (САПР) належать до найскладніших і найбільш наукоємних класів автоматизованих інформаційних систем. Це пов'язано з тим, що вони не лише виконують інженерні розрахунки й підтримують створення цифрових моделей виробів, а й охоплюють значно ширший спектр задач, пов'язаних із повним життєвим циклом проєктування. Окрім безпосереднього виконання проєктних процедур, у сучасних САПР дедалі більшої ваги набуває автоматизація управління самим процесом проєктування. У зв'язку з цим на підприємствах середнього та великого масштабу спостерігається чітка тенденція до інтеграції САПР із системами управління виробництвом (АСУП), а також із системами електронного документообігу.

Ключові слова: автоматизована інформаційна система, цифрова модель виробу, життєвий цикл проєктування, проєктні процедури, інтеграція САПР, автоматизовані системами управління виробництвом (АСУП), системами електронного документообігу.

Abstract. Computer-Aided Design (CAD) systems are among the most complex and research-intensive classes of automated information systems. This is because they not only perform engineering calculations and support the creation of digital product models, but also cover a much broader range of tasks related to the entire design lifecycle. In addition to the direct execution of design procedures, the automation of the design process itself is becoming increasingly important in modern CAD systems. In this regard, a clear trend toward the integration of CAD systems with production management systems (PMS) as well as with electronic document management systems is observed in medium- and large-scale enterprises.

Keywords: automated information system, digital product model, design life cycle, design procedures, CAD integration with automated production control systems (APCS) and electronic document management systems.

Серед CAD-систем виділяють системи нижнього, середнього та верхнього рівнів. Така класифікація сформувалася наприкінці 80-90-х років минулого століття.

Системи нижнього рівня (або «легкі» системи) – це відносно недорогі САПР, які переважно орієнтовані на 2D-графіку. Їх основне призначення – автоматизація креслярських робіт. Технічно такі системи базувалися на персональних комп'ютерах, які на той час значно поступалися за продуктивністю робочим станціям.

Системи верхнього рівня («важкі» системи або hi-end) створювалися для роботи на потужних робочих станціях або мейнфреймах. Вони є більш складними та дорогими, орієнтованими на тривимірне твердотільне та поверхневе моделювання. У таких системах креслярська документація зазвичай формується на основі попередньо створених 3D-моделей.

Згодом системи, які підтримували лише твердотільне моделювання і займали проміжне положення між «легкими» та «важкими», почали відносити до середнього рівня.

Сьогодні розвиток CAD-систем призвів до того, що межі між рівнями стали менш чіткими. У багатьох системах середнього рівня з'явилися інструменти поверхневого моделювання, а можливості персональних комп'ютерів стали достатніми навіть для складних задач верхнього рівня. У результаті змінився сам підхід до класифікації: тепер «важкими» часто називають комплексні системи CAE/CAD/CAM/PDM, які поєднують конструкторське і технологічне проєктування, інженерний аналіз, керування проєктними даними та широкий набір спеціалізованих модулів.

Усі системи одного рівня за функціональністю приблизно рівнозначні: нові можливості, що з'являються в одному програмному комплексі, з часом впроваджуються і в інших.

На великих підприємствах зазвичай використовують CAD-рішення різних рівнів. Це пов'язано з тим, що більшість (понад 80%) конструкторських задач можна виконати на системах нижнього та середнього рівнів, тоді як «важкі» системи є дорогими і застосовуються обмежено. Тому підприємства закуповують лише невелику кількість ліцензій верхнього рівня, а основні робочі місця оснащують системами нижчого або середнього рівня.

У зв'язку з цим виникає проблема сумісності та обміну даними між різними CAD-системами, яка вирішується за допомогою стандартів і форматів, що використовуються в CALS-технологіях.

1. Основні функції CAD-систем. Функції CAD-систем у машинобудуванні поділяють на функції двовимірного (2D) та тривимірного (3D) проєктування. До 2D-функцій належать виконання креслень і оформлення конструкторської документації. Натомість 3D-функції включають побудову просторових геометричних моделей, виконання метричних розрахунків, реалістичну візуалізацію, а також взаємні перетворення між 2D- та 3D-уявленнями об'єктів.

Тривимірні моделі можуть задаватися як опис поверхонь, що обмежують деталь, або як визначення об'єму простору, який займає тіло. Поверхні складної форми формуються за допомогою різновидів кінематичного методу, зокрема шляхом переміщення плоского контуру вздовж нормалі до його площини, протягування вздовж просторової кривої, обертання навколо заданої осі або побудови поверхні між кількома заданими перерізами.

Для створення скульптурних поверхонь, які проходять через задані точки простору, використовують моделі на основі кривих Безьє. У випадках, коли потрібна підвищена гладкість поверхні, застосовують моделі на основі B-сплайнів.

Синтез моделей складальних одиниць здійснюється шляхом позиціонування елементів, а також використанням теоретико-множинних операцій – перетину, об’єднання та віднімання – до бібліотечних і новостворених моделей деталей. У деяких системах додатково реалізуються операції компонування обладнання, прокладання з’єднувальних трас та інші інженерні процедури.

Важливими характеристиками CAD-систем є параметризація та асоціативність. Параметризація означає подання геометричних моделей у вигляді набору змінних параметрів замість фіксованих величин. Це дозволяє легко адаптувати модель до різних варіантів конструкції та використовувати її в багатьох проєктах. Також параметричні моделі можуть автоматично підлаштовуватися під просторові обмеження під час включення в складальні вузли.

Асоціативність забезпечує зв’язок між параметрами різних елементів моделі у вигляді математичних залежностей. Завдяки цьому зміни, внесені конструктором в одну частину складальної моделі, автоматично відображаються в інших пов’язаних частинах, оновлюючи відповідні геометричні параметри.

2. Основні функції CAE-систем. Функції CAE-систем є доволі різноплановими, оскільки вони охоплюють проєктні процедури аналізу, математичного моделювання та оптимізації інженерних рішень. У складі машинобудівних CAE-систем зазвичай виокремлюють програмні модулі, призначені для виконання таких основних задач:

• моделювання полів фізичних величин, включаючи розрахунки міцності, що найчастіше реалізуються на основі МСЕ;

• визначення станів об’єктів моделювання та аналіз перехідних процесів із використанням апарату макрорівня;

• імітаційне моделювання складних виробничих систем на базі теорії масового обслуговування та мереж Петрі.

Базову структуру програм, що реалізують аналіз методом МСЕ, утворюють бібліотеки кінцевих елементів, препроцесор, вирішувач і постпроцесор.

Бібліотеки скінченних елементів (СЕ) містять математичні моделі елементів, зокрема їх матриці жорсткості. При цьому набір таких моделей залежить від типу задачі (наприклад, пружні або пластичні деформації, температурні поля, електричні потенціали), геометричної форми елементів (трикутні, чотирикутні тощо у 2D-випадку) та вибраних координатних функцій.

Вхідними даними для препроцесора є геометрична модель об'єкта, яка найчастіше формується в CAD-підсистемі. Основне призначення препроцесора полягає в дискретизації досліджуваної області, тобто представленні деталі у вигляді скінченноелементної сітки.

Вирішувач виконує збирання локальних моделей СЕ в єдину систему алгебраїчних рівнянь і здійснює її розв'язання за допомогою методів для розріджених матриць.

Постпроцесор відповідає за інтерпретацію та візуалізацію результатів обчислень у зручному для користувача вигляді. У машинобудівних САПР результати зазвичай подаються графічно: користувач може аналізувати початкову та деформовану конфігурації деталі, а також розподіли напружень, температур або потенціалів у вигляді кольорових карт, де палітра або інтенсивність відображає значення відповідної змінної.

3. Основні функції CAM-систем. Основні функції CAM-систем включають розробку технологічних процесів, автоматизований синтез керуючих програм для обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки деталей, зокрема побудову траєкторій відносного руху інструмента та заготовки під час обробки, створення постпроцесорів для конкретних типів верстатів з ЧПУ, а також розрахунок норм часу виконання технологічних операцій.

Вихідними даними для формування програм керування ЧПК є результати конструкторського проєктування, отримані з CAD-систем. Водночас програмування може здійснюватися і на основі лише креслень деталі та заданих параметрів технологічного процесу, без повної 3D-моделі.

У процесі програмування визначається та кодується геометрія заготовки, траєкторії переміщення робочих органів верстата, а також режими обробки. Для цього використовуються спеціалізовані мови високого рівня, серед яких прикладом є APT (Automatically Programmed Tools). У мові APT виділяють такі основні групи команд:

• ідентифікаційні – для задання назви деталі та типу постпроцесора;

• геометричні – для опису геометрії оброблюваного об’єкта;

• команди керування рухом ріжучого інструмента;

• команди керування режимами обробки (швидкість подачі, обертання шпинделя, охолодження тощо);

• додаткові команди (наприклад, вибір інструменту та інші допоміжні операції).

***Приклади команд APT**:*

P5 = POINT/0.0. 2.5. 0.4 – визначення точки P5 з координатами X=0, Y=2,5, Z=0,4.

GOTO/P7 – переміщення в точку P7.

FEDRAT/6.0 – завдання швидкості подачі 6 дюйм/хв.

Отриманий вихідний код на мові APT перетворюється у програму керування переміщенням інструмента та подачею, яка подається у вигляді апаратно незалежного файлу CLData (Cutter Location Data). Цей файл CLData передається до постпроцесора, який виконує його трансляцію у керуючу програму, адаптовану під конкретний тип контролера ЧПК.

Мови керування ЧПК зазвичай використовуються не професійними програмістами, а технологами виробництва, тому до них висуваються вимоги простоти та наочності. У зв’язку з цим бажаним є використання мов, що ґрунтуються на візуальному або графічному представленні технологічних ситуацій. У ряді систем додатково застосовуються схемні мови. Частина таких мов стандартизована та описана в міжнародному стандарті IEC 1131-3.

Окреме місце в CAD/CAM-системах займає прототипування – процес виготовлення фізичних прототипів деталей або технологічних шаблонів, які надалі використовуються для серійного виробництва. Прототипування фактично є матеріальним відтворенням розробленої геометричної моделі.

Однією з поширених технологій прототипування є стереолітографія, яка базується на пошаровому формуванні тривимірного об’єкта з фотополімеру, що вибірково твердне під дією лазерного випромінювання. Процес виконується в установці, що містить ванну з рідким полімером і рухому платформу, яка переміщується вертикально. Під час формування кожного шару платформа розташовується нижче поверхні полімеру на товщину одного шару, після чого лазерний промінь проходить по контуру перерізу моделі, забезпечуючи затвердіння відповідної ділянки. Послідовне нашарування дозволяє отримати суцільний твердий прототип.

Стереолітографія може застосовуватися і для виготовлення кінцевих деталей за умови, що фотополімер відповідає вимогам до експлуатаційного матеріалу.

Поряд зі стереолітографією використовуються й інші методи прототипування, зокрема ламінування (LOM – Laminated Object Manufacturing), яке ґрунтується на пошаровому склеюванні матеріалу, що подається у вигляді рулону. У процесі виготовлення кожен шар вирізається лазером відповідно до потрібного контуру перерізу деталі.

4. Огляд машинобудівних САПР. Як правило, машинобудівні САПР мають багатомодульну структуру. Типовим є поділ на модулі, що відповідають різним етапам і задачам проєктування: конструкторське проєктування механічних об’єктів, промисловий дизайн, інженерний аналіз (функціональне моделювання), технологічне проєктування, обмін даними та візуалізація.

На сучасному етапі розвитку (станом на 2006 р.) у світі залишилося кілька провідних систем машинобудівних САПР верхнього рівня, що активно розвивалися. Серед них: Unigraphics (UGS – Unigraphics Solutions), CATIA (Dassault

Systèmes) та Pro/Engineer (PTC – Parametric Technology Corporation). Раніше з ними конкурували системи I-DEAS (SDRC), CADDS5 (Computervision) та EUCLID (Matra Datavision), однак з часом їх розвиток був або припинений, або інтегрований у більш сучасні платформи.

Компанія Dassault Systèmes у співпраці з IBM розвиває систему CATIA V5, яка об'єднала напрацювання попередньої версії CATIA V4 та технологій Euclid Quantum, отриманих від Matra Datavision.

Після придбання SDRC корпорацією EDS було створено підрозділ EDS PLM Solutions, який згодом став самостійною компанією Unigraphics Solutions. У результаті була розроблена версія Unigraphics NX, що поєднала сильні сторони Unigraphics та I-DEAS. Зокрема, I-DEAS мав потужні засоби інженерного аналізу, але поступався Unigraphics у функціях CAM.

Компанія Computervision увійшла до складу PTC ще у 1990-х роках, після чого розвиток CADDS5 було зупинено. Наразі PTC впроваджує нову версію Pro/Engineer під назвою Wildfire.

До основних тенденцій розвитку CAD/CAM/CAE-систем належать:

• розвиток САПР як складової частини систем PLM, тобто інтеграція з іншими системами, що підтримують життєвий цикл виробів;

• впровадження можливостей колаборативного (спільного) проєктування на основі використання Internet.

Система Unigraphics NX – універсальна система геометричного моделювання та конструкторсько-технологічного проєктування, яка підтримує розробку великих складальних вузлів, виконання міцнісних розрахунків і підготовку конструкторської документації. У ній застосовується концепція майстер-процесів — інтерактивних засобів проєктування, адаптованих до специфіки конкретних задач і галузей застосування.

У конструкторській частині (CAD-підсистема) реалізовано інструменти для твердотільного моделювання, побудови геометрії на основі сплайнових поверхонь,

автоматичного формування креслень на основі 3D-моделей, а також проєктування складальних конструкцій, у тому числі дуже великих за кількістю компонентів (сотні й тисячі елементів), з підтримкою асоціативності. Також передбачено засоби аналізу допусків та інші інженерні функції. Як графічне ядро використовується Parasolid.

У технологічній частині (CAM-підсистема) забезпечується розробка керуючих програм для токарної та електроерозійної обробки, а також побудова й аналіз траєкторій інструмента при фрезеруванні, включно з трьох- та п’ятикоординатною обробкою. Окремо підтримується проєктування штампів і прес-форм.

Інженерно-розрахункова частина (CAE-підсистема) містить модулі міцнісного аналізу на основі МСЕ з відповідними препроцесорами та постпроцесорами, а також засоби кінематичного й динамічного аналізу механізмів із визначенням сил, швидкостей і прискорень. Додатково реалізовано аналіз процесів лиття та поведінки пластичних матеріалів.

Система CATIA V5 використовується на всіх етапах життєвого циклу виробу – від концептуального проєктування до технологічної підготовки виробництва та планування ресурсів. Вона підтримує як поверхневе, так і твердотільне 3D-моделювання, а також оптимізацію параметрів виробів. У системі застосовується власне графічне ядро CNEXT.

CATIA V5 забезпечує фотореалістичну візуалізацію, а також можливість відновлення математичної моделі на основі фізичного прототипу. Система є масштабованою і пропонує різні конфігурації – від рішень для повного наскрізного проєктування складних виробів до варіантів для малих і середніх підприємств.

До характерних особливостей CATIA V5 належать наявність модуля формалізації знань, орієнтованого на оптимізацію конструкцій і процесів проєктування, а також антропологічного модуля, який дозволяє враховувати параметри людини при моделюванні людино-машинних систем.

Система Pro/Engineer, що веде свою історію з 1986 року, містить базові модулі конструкторського проєктування, призначені для твердотільного та поверхневого моделювання, синтезу конструкцій на основі базових елементів форми, підтримки параметризації та асоціативності, а також для автоматизованого формування проєкційних креслень із нанесенням розмірів і допусків. Користувач має можливість розширювати бібліотеку базових елементів форми (БЕФ), додаючи власні параметричні моделі.

Для САПР компанії PTC розроблено графічне ядро Granite One. Додаткові модулі конструкторського проєктування мають вузькоспеціалізований характер і орієнтовані на окремі галузеві задачі. Серед них – проєктування панелей із композиційних матеріалів, розробка штампів і ливарних прес-форм, трубопровідних систем, зварних конструкцій, а також систем прокладання електричних кабелів і джгутів.

Модулі функціонального моделювання виконують роль препроцесорів і постпроцесорів у задачах кінцево-елементного аналізу (зокрема побудова скінченноелементної сітки та візуалізація результатів розрахунків). Вони також застосовуються для аналізу теплового стану конструкцій, оцінки вібростійкості та інших інженерних досліджень.

Основні модулі технологічного проєктування призначені для моделювання процесів фрезерної, токарної та електроерозійної обробки, а також для формування керуючих програм для обладнання з ЧПК і створення постпроцесорів. Водночас CAM-функціональність у Pro/Engineer традиційно вважається менш розвиненою порівняно з CAD-компонентами.

Модулі обміну даними (конвертори форматів) забезпечують імпорт та експорт інформації між різними CAE/CAD/CAM-системами, підтримуючи інтеграцію в гетерогенних проєктних середовищах.

У версії Wildfire реалізовано розширене використання Internet для організації спільного проєктування, зокрема для проведення відеоконференцій між

розробниками. Також суттєво спрощено інтерфейс користувача завдяки впровадженню ієрархічної системи піктограм.

Серед САПР середнього рівня провідні позиції займають системи SolidWorks (SolidWorks Corporation), Solid Edge (EDS PLM Solutions) та Inventor (Autodesk). Компанія PTC також пропонує рішення середнього рівня під назвою Pro/Desktop. В Україні та країнах СНД широкого поширення набули вітчизняні системи КОМПАС (АСКОН) і T-Flex CAD (Топ Системи), а також інші продукти, зокрема рішення Autodesk, Bentley, Intermech і Bee-Pitron.

Усі ці системи орієнтовані переважно на платформу Wintel і зазвичай включають підсистеми 2D-креслення, твердотільного 3D-моделювання, технологічного проєктування, управління проєктними даними, базові модулі інженерного аналізу, а також бібліотеки типових конструктивних елементів.

Система твердотільного параметричного моделювання механічних конструкцій SolidWorks побудована на графічному ядрі Parasolid. Процес синтезу конструкції починається з формування базового тіла за допомогою операцій типу видавлювання, протягування або обертання ескізу з подальшим додаванням і/або відніманням об’ємів інших тіл. У системі застосовується технологія граничного представлення (B-representation), де поверхні описуються аналітично або за допомогою сплайнів.

Під час проєктування складальних одиниць на основі базових елементів форми (БЕФ) користувач може задавати різні умови взаємного розташування деталей, а також автоматично контролювати зазори та відсутність взаємного перетину компонентів. Передбачено інтерфейси обміну даними з іншими системами, зокрема IGES, DXF та DWG. До складу системи також входить модуль міцнісного аналізу Cosmos/Works.

Суттєвою перевагою Solid Edge є високий рівень інтеграції з системою верхнього рівня Unigraphics, оскільки обидві системи розробляються однією компанією та використовують спільне графічне ядро. Методика конструювання в

Solid Edge подібна до інших сучасних САПР: конструктивні елементи задаються у вигляді 2D-ескізів, які шляхом операцій видавлювання або обертання перетворюються на тривимірні моделі деталей.

Система Inventor призначена для твердотільного параметричного проєктування та орієнтована на створення великих складальних конструкцій, що містять сотні й тисячі деталей. Вона має розвинену бібліотеку стандартних елементів, що значно прискорює процес конструювання типових вузлів і механізмів.

Система побудована на графічному ядрі ACIS, на основі якого компанія Autodesk також розробила власне ядро Shape Manager. Побудова тривимірних моделей здійснюється за допомогою операцій видавлювання, обертання, побудови за перетинами та вздовж заданих траєкторій. На основі 3D-моделей автоматично формуються 2D-креслення та специфікації матеріалів.

У системі підтримується колективна робота над проєктами, у тому числі одночасна робота з однією складальною моделлю. Реалізовано автоматичну перевірку кінематики механізмів, а також контроль геометричних розмірів деталей з урахуванням положення сусідніх елементів у складі збірки.

Важливою перевагою Inventor є спосіб формування асоціативних зв’язків: вони задаються не через складні математичні рівняння, а безпосередньо через визначення форми та взаємного розташування компонентів, що спрощує роботу конструктора.

Компанія Autodesk також пропонує системи середнього та нижнього рівнів – Mechanical Desktop (MDT) та AutoCAD LT.

У зв’язці з Inventor і Solid Edge може використовуватися система кінцево-елементного аналізу Cosmos/DesignSTAR, яка дозволяє виконувати аналіз напружено-деформованого стану, стаціонарних і нестаціонарних теплових процесів, динаміки рідин і газів, низькочастотних електромагнітних полів, а також визначати власні частоти коливань конструкцій.

У системі КОМПАС для тривимірного твердотільного моделювання використовується власне графічне ядро. Синтез конструкцій здійснюється за допомогою булевих операцій над об’ємними примітивами, а також методів видавлювання, обертання та побудови за заданими перерізами. Передбачено можливість задання параметричних залежностей між елементами конструкції та розрахунок мас-інерційних характеристик.

Підсистема 3D твердотільного моделювання в T-Flex CAD побудована на основі ядра Parasolid. У ній реалізовано двонаправлену параметричну асоціативність, тобто будь-які зміни в кресленні автоматично відображаються в 3D-моделі, і навпаки – коригування геометрії моделі призводить до оновлення креслень. При роботі зі складальними одиницями зміна параметрів або положення однієї деталі викликає автоматичне перебудування пов’язаних елементів, що забезпечує узгодженість усієї конструкції.

Створення тривимірних моделей у системі може виконуватися різними способами: на основі вже існуючого креслення, за допомогою булевих операцій над твердотільними об’єктами, а також через типові геометричні операції — витягування, обертання профілю, протягування вздовж траєкторії, loft-побудови тощо. Система також дозволяє автоматично обчислювати масово-інерційні характеристики виробів. На основі 3D-моделі можна формувати комплект конструкторської документації, включаючи проєкційні креслення.

Окремо варто відзначити, що T-Flex CAD містить низку взаємопов’язаних модулів: T-Flex CAD 2D використовується для параметричного креслення та оформлення документації, T-Flex DOCs забезпечує керування проєктами та електронним документообігом. Технологічна підготовка виробництва реалізується через систему T-Flex/ТехноПро, де виконується розробка технологічних процесів, розрахунок розмірних ланцюгів, підбір інструменту, формування маршрутних і операційних карт, а також супровідної документації (відомостей матеріалів, оснащення, карт контролю). Підготовка керуючих програм для верстатів з ЧПК

здійснюється окремим модулем T-Flex ЧПУ. Крім цього, система включає інструменти інженерних розрахунків і засоби проєктування прес-форм та штампів.

У сфері ливарного виробництва відомі рішення компанії Moldflow, зокрема програми Part Adviser і Mold Adviser, які призначені для моделювання процесів лиття пластмас і аналізу поведінки матеріалу у формі.

Серед CAM-систем важливе місце займає Mastercam, яка містить інструменти для генерації керуючих програм для різних видів механічної обробки заготовок. Вона також підтримує моделювання процесів обробки, корекцію геометричних моделей, а головне – має широкий набір конверторів для обміну даними з іншими CAD/CAM-системами (STEP, IGES, Parasolid, ACIS, AutoCAD, Inventor, SolidWorks та інші формати).

Для технологічної підготовки виробництва використовується система TechnologiCS (Consistent Software), яка забезпечує ведення структури виробу, формування специфікацій, керування кресленнями, розробку технологічних процесів, підбір інструментів, розрахунок режимів обробки, нормування матеріалів і оформлення технологічної документації.

Окремо слід згадати CAM-систему SolidCAM, яка інтегрується з CAD-середовищами на основі ядра ACIS і використовується для створення керуючих програм для токарної та багатовісної фрезерної обробки. Подібні функції також реалізує система ТЕХТРАН, що містить модулі для різних типів механічної обробки, включно з електроерозійною.

У галузі інженерного аналізу (CAE) провідними світовими рішеннями залишаються програмні комплекси Nastran і Patran (MSC Software) та Ansys (Ansys Inc.), які широко застосовуються для розрахунку міцності, теплових процесів, динаміки та інших фізичних задач.

Як правило, подібні програмні комплекси складаються з набору взаємопов’язаних модулів, які об’єднані спільною архітектурою математичних методів, інтерфейсів користувача та частково уніфікованим програмним ядром.

Водночас різні компоненти таких систем можуть мати відмінну спеціалізацію, рівень складності, сферу застосування та вартість, а також виконувати різні допоміжні або сервісні функції.

Наприклад, у системі ANSYS базові розрахункові модулі забезпечують широкий спектр інженерного аналізу: визначення міцності конструкцій, теплопровідності, задач гідродинаміки (потоки рідин і газів), акустичних явищ, а також електромагнітних полів. Усі конфігурації системи зазвичай містять інструменти попередньої та постобробки даних (pre-/post-processing), а також засоби взаємодії з базами даних. Крім того, передбачено обмін геометричними й розрахунковими даними з провідними CAD-системами та середовищами машинної графіки, що дозволяє інтегрувати ANSYS у повний цикл проєктування.

Серед систем моделювання механічних процесів на макрорівні, що базуються на розв’язанні систем звичайних диференціальних рівнянь, одним із найвідоміших світових рішень є MSC Adams. Вона використовується для аналізу динаміки багатотілих механічних систем, включаючи розрахунок руху, сил взаємодії, швидкостей і прискорень елементів конструкцій. Серед вітчизняних аналогів подібного призначення можна відзначити програмні комплекси ПА7 і ПА9, які застосовуються для вирішення задач динамічного моделювання механічних систем.

Список використаних джерел

1. Alrefo I. F., Rawashdeh M. O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
2. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082. ISSN 2071-2227
3. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці*

Таврійського державного агротехнологічного університету. 2024. Вип. 24, т . 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
4. Паляничка Н. О., Вершков О. О., Антонова Г. В. Аналіз новітніх пристроїв для гомогенізації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2017. Вип. 17, т. 3. С. 194-200.
5. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення Adobe Audition. *Розвиток сучасної науки та освіти :* матеріали IV Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
6. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації :* матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
7. Гавриленко Е. А., Холодняк Ю. В., Антонова Г. В., Михайленко Е. Ю. Моделирование участков одномерных обводов по заданным условиям. *Прикладна геометрія та інженерна графіка.* Вип. 101. С. 34-44. http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/256305 (дата звернення 12.04.2026).
8. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Чаплінський А. П. Отримання мастер-модели з восківки методом лиття. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-33
9. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Розробка технології формування CAD-моделей поверхонь технічних виробів. *Науковий вісник ТДАТУ.* 2022. Вип. 12, т. 2. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-2-34

УДК 539.3

Микола М. Ткачук, доктор технічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник кафедри інформаційних технологій і
систем колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова,
Андрій Грабовський, доктор технічних наук, професор,
провідний науковий співробітник кафедри теорії і
систем автоматизованого проектування механізмів і машин,
Микола А. Ткачук, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теорії і систем автоматизованого
проектування механізмів і машин,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна
Наталія Дьоміна, кандидат технічних наук, доцент, завідувачка
кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна
Олена Зінченко, кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри теорії і систем автоматизованого
проектування механізмів і машин,
Володимир Сєриков, кандидат технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник кафедри теорії і
систем автоматизованого проектування механізмів і машин
Ірина Гречка, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теорії і систем автоматизованого
проектування механізмів і машин,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

НОВІТНІ ПРОЄКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ КОНТАКТУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Для обґрунтування проєктно-технологічних рішень задля зміцнення контактуючих елементів машин військового та цивільного призначення здійснено багатоваріантне чисельне моделювання напружено-деформованого стану цих тіл. Із цією метою розроблено варіаційну постановку задачі про контактну взаємодію тіл складної геометричної форми.

Ключові слова: контакт, математична модель, скінченний елемент, тиск, міцність.

Abstract. To substantiate design and technological solutions for strengthening the contacting elements of military and civil vehicles, a multivariate numerical simulation of the stress-strain state of these bodies was carried out. For this purpose, a variational formulation of the problem of contact interaction of bodies of complex geometric shape was developed.

Keywords: contact, mathematical model, finite element, pressure, strength.

На сучасному етапі різко зростають вимоги до технічних і тактико-технічних характеристик машин військового та цивільного призначення. При цьому важливими обмеженнями у багатьох випадках є міцність найбільш навантажених контактуючих деталей. Традиційні проєктно-технологічні рішення у багатьох випадках вичерпали свої резерви: ні традиційне формоутворення, ні технологічні операції поверхневого зміцнення (азотування, загартування, покриття тощо) не дають відчутного прогресу у підвищенні міцності, довговічності та навантажувальної здатності. Таким чином, на порядок денний виступають нові проєктні та технологічні рішення, а також – їх поєднання. Це, наприклад, з одного боку, модифікація номінальної форми контактуючих тіл [1, 2], а з іншого, - застосування методів дискретно-континуального зміцнення [1, 2] на основі поєднання мікро-дугового оксидування та мікролегування. Своєю чергою, такі технічні рішення призводять до розширення простору визначальних чинників, які описують фізичну модель, яка виникає у такому випадку. Якраз таке розширення фізичної моделі не дає можливості напряму традиційними шляхами переходити до математичної, а надалі – до чисельної моделі. Більш того, такі переходи та здійснення на їх основі відповідних досліджень може призвести до принципово хибних рекомендацій при формуванні технічних рішень перспективних машинобудівних конструкцій.

Така ситуація спонукала розробити новий підхід до опису напружено-деформованого стану контактуючих елементів конструкцій, який позбавлений існуючих обмежень (рис. 1). Зокрема, мова буде йти про варіаційну постановку такої задачі. Вона подібна до описаної у [1, 2]. В узагальненому вигляді маємо:

$$J = \frac{1}{2}\int_{(\Omega)} \sigma_{ij}(u)\cdot\varepsilon_{ij}(u)d\Omega - \int_{(S)} f\cdot u dS, \qquad (1)$$

де Ω - область простору, яку займають тіла, із границею S; σ, ε, u - компоненти тензорів напружень, деформацій та вектора переміщень, f - навантаження.

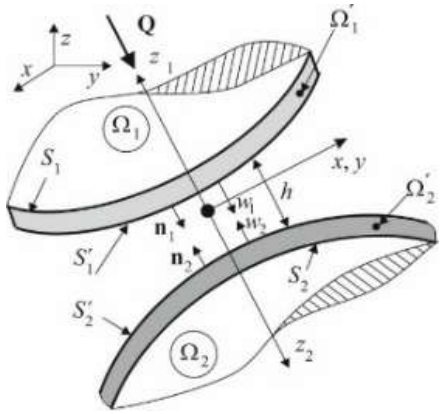


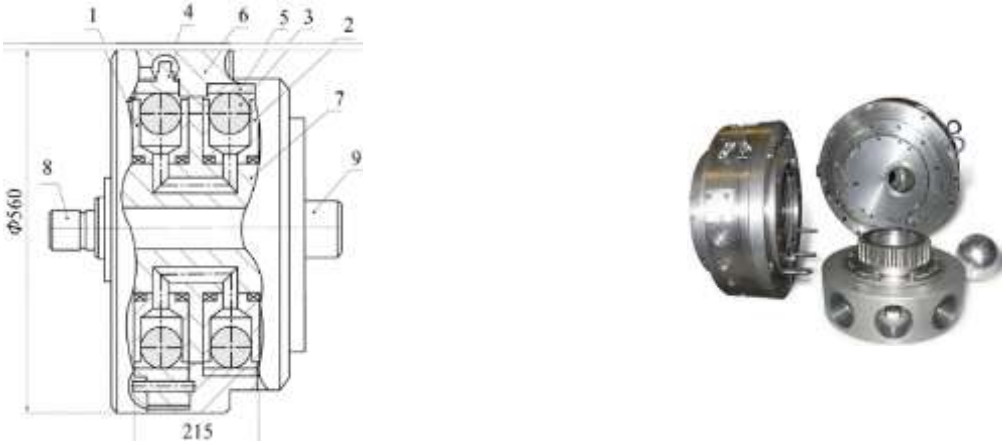
Рис. 1. Контакт складнопрофільних тіл Ω_1, Ω_2 за наявності проміжних шарів (покриттів) відповідно

Мінімізація (1) здійснюється на множині варійованих функцій, що описують умови контактної взаємодії у вигляді нерівностей. При чисельній реалізації залучаються методи типу граничних або скінченних елементів. Таким чином, якраз у ланцюгу «фізична – математична – чисельна» моделі саме проблеми переходу від фізичної до математичної моделі, які становлять найбільші методологічні труднощі, знаходять природне вирішення.

У функціоналі, що мінімізується, присутні доданки, що залежать, по-перше, від геометричної форми поверхонь контактуючих тіл – проєктна складова, а по-друге, - від властивостей поверхневих шарів їхніх матеріалів (покриттів) – технологічна складова. І у першому, і у другому доданку можна ввести або прогнозовані, або – шукані збурення. Цим самим через процедуру пошуку умовного мінімуму енергетичного функціонала (1) стає можливим або визначити закономірності впливу цих варійованих параметрів на характеристики міцності,

або – навпаки, – обґрунтувати за критерієм міцності рекомендовані проєктно-технологічні рішення.

Як ілюстрація розробленого підходу – аналіз впливу форми контактуючих поверхонь елементів гідрооб'ємних передач (ГОП) із кульковими поршнями та жорсткісних властивостей їхніх поверхневих шарів на розподіл контактного тиску у спряженні із біговою доріжкою (рис. 2, 3).



а) б)

Рис. 2. Гідравлічна передача ГОП-900 (а) та її окремі частини (б):
1 та 2 – блоки циліндрів (ротори) насоса та гідромотора відповідно; 3 – кульково-поршнева частина; 4 та 5 – статорні кільця насоса та гідромотора відповідно; 6 – корпус; 7 – блок розподільних валів; 8 та 9 – вхідний та вихідний вали

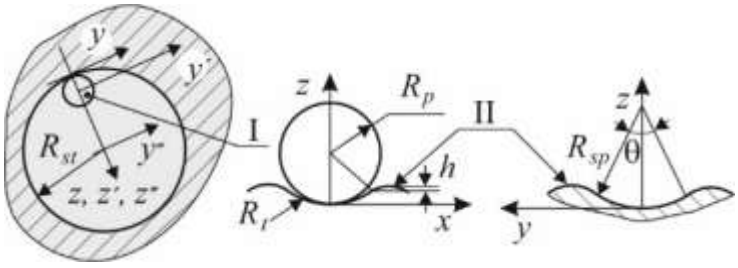


Рис. 3. Схема взаємодії кулькових поршнів I із біговою доріжкою II статорного кільця гідропередачі

Як приклад застосування розробленого підходу – аналіз контактної взаємодії кулькового поршня гідравлічної радіально-об'ємної передачі ГОП-900 (рис. 2) із біговою доріжкою її статорного кільця (рис. 3), здійснений за допомогою методів

скінченних та граничних елементів. Притискна сила – від 20 до 200 кН (із дискретою 20 кН). Досліджувалися варіанти: - радіус R_{sp}; $k = 1, 2, 3$; $R_{sp} = R_1 = 1{,}05 \cdot R_p$; $R_{sp} = R_2 = 1{,}01 \cdot R_p$; $R_{sp} = R_3 = 0{,}99 \cdot R_p$; - жорсткісні властивості матеріалів поверхневих шарів (тобто залежність величини обтискання w^L цих шарів від діючого на них тиску q) – функції f_l; $l = A, B, C$; залежності – на рис. 4. Тут початкова ділянка наведених на рис. 4 характеристик відповідає контактній жорсткості 10^{13} Н/м^3.

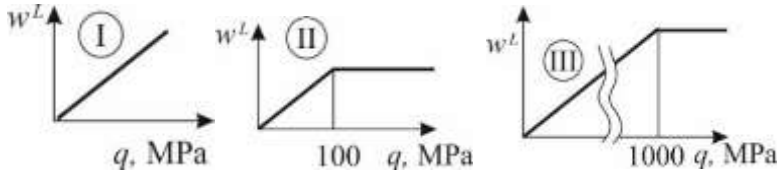


Рис. 4. Характеристики матеріалів поверхневих шарів у досліджуваному сполученні

На рис. 5 – 7 наведені ілюстрації результатів здійснених чисельних досліджень у вигляді розподілів контактного тиску (МПа) уздовж довгої осі плями контакту (x, мм) для притискної сили – від 20 до 200 кН із кроком 20 кН для деяких варіантів радіусу поперечного перерізу R_{sp} ($k = 1, 2, 3$) та жорсткісних характеристик ($l = A, B, C$).

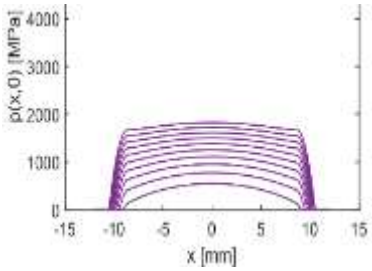


Рис. 5. Розподіл контактного тиску (МПа) між кулею і тором для варіанту $k = 1$ та $l = A$

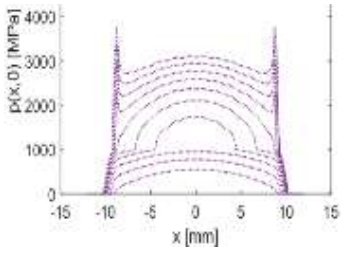


Рис. 6. Розподіл контактного тиску (МПа) між кулею і тором для варіанту $k = 1$ та $l = C$

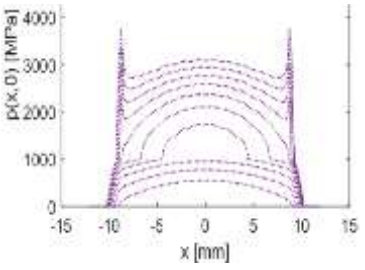


Рис. 7. Розподіл контактного тиску (МПа) між кулею і тором для варіанту $k = 3$ та $l = C$

Аналіз результатів досліджень та висновки. Як свідчить аналіз результатів, і геометрична форма, і властивості матеріалів поверхневих шарів,

мають суттєвий вплив на розподіл контактного тиску між тілами складної форми. Своєю чергою, це впливає на розподіл напружень. Відповідно, можлива постановка оберненої задачі – про обгрунтування прогресивних технічних рішень машинобудівних конструкцій, у склад яких включаються такі контактуючі складнопрофільні тіла.

Список використаних джерел

1. Ткачук М. М., Зінченко О., Грабовський А., Сєриков В., Ткачук М. А., Дьоміна А. А., Гречка І. Варіаційні постановки задачі про контактну взаємодію тіл близької форми. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф., м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. С. 81-85.
2. Ткачук М. М., Грабовський А., Ткачук М. А., Дьоміна Н. А., Васильєв А., Зінченко О., Сєриков В. Новітні технології зміцнення елементів машин військового та цивільного призначення. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали VI Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 28-30 травня 2025 р.) / [ред.колегія: С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та ін.]. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 46-54.

УДК 004.942:614.8

Ніна Рашкевич, PhD, доцент,
доцент кафедри державного нагляду у сфері пожежної та
техногенної безпеки навчально-наукового інституту
пожежної та техногенної безпеки
Національного університету цивільного захисту України,
м. Черкаси, Україна

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

Анотація. У роботі розглянуто комп'ютерне моделювання як інструмент розвитку технічних наук та аналізу небезпечних процесів під час небезпечних подій або надзвичайних ситуацій. Обґрунтовано доцільність поєднання розрахункових моделей для оцінювання параметрів небезпечного сценарію. Показано можливість використання результатів моделювання для виявлення небезпечних ділянок та порівняння технічних рішень.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, евакуація, пожежа, димовидалення, стійкість конструкцій, програмні комплекси.

Abstract. The paper considers computer modelling as a tool for the development of technical sciences and the analysis of hazardous processes during dangerous events or emergency situations. The expediency of combining calculation models for assessing the parameters of a hazardous scenario is substantiated. The possibility of using modelling results to identify hazardous areas and compare technical solutions is shown.

Keywords: computer modelling, evacuation, fire, smoke extraction, structural stability, software packages.

Сучасна наука й освіта активно використовують цифрові інструменти, зокрема комп'ютерне моделювання, для аналізу складних інженерних процесів, небезпечних сценаріїв та оцінювання технічних рішень. У сфері пожежної й техногенної безпеки воно застосовується для дослідження евакуації людей, поширення диму й температур, роботи протидимного захисту, стійкості конструкцій та впливу аварійних факторів на безпеку людей і технічних систем.

У наукових дослідженнях розглянуто різні напрями застосування комп'ютерного моделювання для розв'язання прикладних задач у сфері пожежної та техногенної безпеки. Зокрема, у роботі [6] проаналізовано використання програмного забезпечення PATHFINDER для моделювання евакуації людей при пожежі. Такий підхід дає змогу визначати розрахунковий час евакуації, оцінювати пропускну здатність евакуаційних шляхів і виходів, а також виявляти ділянки можливого скупчення людей. Окремим напрямом є моделювання евакуації вразливих категорій населення [7].

У дослідженні [2] розглянуто моделювання можливої зони задимлюваності у зруйнованому укритті. У таких задачах враховуються межі поширення диму, зміна видимості й температури, напрямки руху димогазового середовища та вплив руйнувань на вентиляційні процеси.

Питання розрахунку стійкості та надійності конструктивних систем висвітлено у працях [3,5]. У цих дослідженнях розглянуто методики оцінювання прогресуючого обвалення, а також моделювання взаємодії системи «ґрунт–фундамент–будівля» за умов силових і високотемпературних впливів. Це дозволяє аналізувати поведінку будівель у разі локального пошкодження несучих елементів, перерозподілу зусиль, зміни жорсткості системи та втрати несучої здатності окремих конструкцій.

У роботі [1] досліджено моделювання вогнезахисту світлопрозорих фасадних конструкцій із використанням зрошувачів. Такий підхід дає змогу оцінити вплив інженерної системи зрошення на температурний режим фасаду та можливість зменшення теплового навантаження на огороджувальні елементи.

Розрахунок елементів системи димовидалення в програмному комплексі Ventus наведено у дослідженні [4]. У межах таких розрахунків визначаються витрати повітря, параметри повітроводів, аеродинамічний опір мережі, характеристики вентиляторів і робота клапанів, що дає змогу оцінити ефективність видалення диму з приміщень та шляхів евакуації.

Комп’ютерне моделювання небезпечних процесів складається з кількох етапів. Спочатку створюється геометрична модель об’єкта: приміщень, коридорів, сходових кліток, евакуаційних виходів, вентиляційних каналів, укриттів, фасадних конструкцій або несучих елементів. Її якість безпосередньо впливає на точність розрахунків, оскільки визначає умови руху людей, поширення диму та роботи інженерних систем.

Далі задаються вихідні параметри. Для евакуації це кількість і розміщення людей, швидкість руху, час початку евакуації, ширина проходів і кількість виходів. Для пожежі враховуються пожежне навантаження, місце займання, тепловиділення, властивості матеріалів, вентиляція та робота інженерних систем. Для конструктивного розрахунку задаються характеристики матеріалів, навантаження, температурний вплив, граничні умови та схема опирання.

Моделювання евакуації у PATHFINDER дозволяє визначити час евакуації, траєкторії руху людей, щільність потоків, швидкість переміщення та завантаженість виходів. Отримані результати допомагають виявити скупчення людей, затримки руху, нерівномірне використання виходів і потребу в коригуванні навігації, організації руху або планувальних рішень.

Моделювання пожежі та задимлення у PyroSim/FDS дає змогу досліджувати поширення небезпечних факторів пожежі в просторі й часі: температури, диму, видимості, продуктів горіння, напрямків димових потоків і часу досягнення критичних умов. Результатом такого моделювання може бути визначення моменту, коли видимість на шляхах евакуації знижується до небезпечного рівня або температура перевищує допустимі межі.

Важливим є зіставлення результатів моделювання пожежі з розрахунковим часом евакуації. Якщо критичні умови настають раніше, ніж завершується евакуація, необхідно переглядати планувальні, організаційні чи інженерні рішення: кількість і розташування виходів, маршрути евакуації, роботу систем димовидалення, протипожежні перешкоди або алгоритм оповіщення.

Розрахунок систем протидимного захисту у Ventus дає змогу визначати параметри димовидалення та підпору повітря: витрату повітря, тиск у мережі, втрати тиску, продуктивність вентиляторів, характеристики повітроводів, клапанів і решіток. Такі розрахунки дозволяють перевірити ефективність системи щодо обмеження поширення диму, підтримання видимості на шляхах евакуації та забезпечення умов для роботи пожежно-рятувальних підрозділів.

Моделювання конструктивних систем у ЛІРА-САПР або подібних комплексах застосовується для оцінювання напружено-деформованого стану, несучої здатності, переміщень, деформацій і стійкості конструкцій. У задачах пожежної безпеки чи аварійних впливів можуть враховуватися температурні поля, зниження міцності матеріалів, локальне пошкодження елементів, вилучення колони або зміна жорсткості вузлів. Результатом є визначення найбільш навантажених елементів, можливого перевищення граничних станів і здатності системи до перерозподілу зусиль.

Під час дослідження прогресуючого обвалення модель має враховувати послідовний розвиток пошкодження: локальне руйнування несучого елемента, реакцію всієї системи, перерозподіл зусиль, збільшення прогинів, зміну роботи суміжних елементів, утворення пластичних зон або втрату стійкості. Це дає змогу оцінити, чи зберігає конструктивна система несучу здатність після локального пошкодження, чи руйнування може поширюватися далі.

Комплексне застосування різних програмних засобів дає змогу поєднати кілька видів аналізу. Наприклад, у моделі пожежі визначається температурний вплив на окремі конструкції; ці дані можуть бути використані для подальшого конструктивного розрахунку. Результати моделювання задимлення можуть застосовуватися для уточнення умов евакуації. Дані про роботу систем димовидалення можуть бути використані для оцінювання зміни видимості та температури на шляхах руху людей.

Для підвищення коректності результатів доцільно виконувати сценарний аналіз. До можливих сценаріїв належать: виникнення пожежі в одному з приміщень, блокування основного евакуаційного виходу, відмова вентилятора димовидалення, пошкодження захисної споруди, локальне руйнування несучої конструкції, дія високої температури на фасадні елементи, евакуація дітей або осіб з обмеженими можливостями. Порівняння таких сценаріїв дозволяє встановити, які фактори найбільше впливають на безпеку.

Практичне використання комп'ютерного моделювання передбачає не лише отримання числових результатів, а й їх інженерну інтерпретацію. Наприклад, перевищення часу евакуації не завжди саме по собі пояснює причину проблеми. Необхідно встановити, чи пов'язана вона з недостатньою шириною виходу, неправильною організацією потоків, віддаленістю евакуаційного маршруту, затримкою початку руху або впливом диму на доступність шляхів евакуації.

Водночас достовірність моделювання залежить від повноти та точності вихідних даних.

Таким чином, комп'ютерне моделювання дозволяє переходити від окремого розрахунку до комплексного аналізу небезпечного процесу. Його результати можуть використовуватися для обґрунтування інженерних рішень, перевірки ефективності систем протипожежного захисту, оцінювання евакуаційної безпеки, аналізу стійкості конструктивних систем та підготовки рекомендацій щодо зниження ризиків.

Подальший розвиток цього напряму пов'язаний з уточненням вихідних даних, удосконаленням розрахункових моделей, поєднанням різних видів інженерного аналізу та використанням результатів моделювання у практиці проєктування, експлуатації та оцінювання безпеки об'єктів.

Список використаних джерел

1. Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Балдук П. Г. Моделювання вогнезахисту світлопрозорих фасадних конструкцій з влаштуванням зрошувачів.

Механіка та математичні методи. 2024. Т. 6, № 2. С. 160–174. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-2-160-174.
2. Олейник О. С., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Шаповал С. В. Моделювання можливої зони задимлюваності в зруйнованому укритті. *Комунальне господарство міст*. 2023. Т. 4, вип. 178. С. 210–218. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-210-218.
3. Отрош Ю. А., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Ромін А. В. Дослідження методик розрахунку прогресуючого обвалення. *Механіка та математичні методи*. 2023. Вип. 2. С. 25–40. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40.
4. Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Ковальов А. І., Балдук П. Г. Розрахунок елементів системи димовидалення в ПК Ventus. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2024. Т. 8, № 2. С. 84–93. https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.84.93.
5. Пурденко Р. Р., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Сур'янінов М. Г. Моделювання стійкості та надійності системи ґрунт-фундамент-будівля при дії силових та високотемпературних впливів. *Механіка та математичні методи*. 2024. Т. 6, № 1. С. 36–48. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-36-48.
6. Рубан А. В., Рашкевич Н. В., Отрош В. Ю. Моделювання евакуації людей при пожежі в програмному забезпеченні PATHFINDER. *Modern Technologies for Solving Actual Society's Problems* / edited by O. Nestorenko, I. Ostopolets. Katowice : Publishing House of University of Technology, 2022. С. 412–420.
7. Щолоков Е. Е., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А., Балдук П. Г. Дослідження ефективності системи оповіщення та евакуації дітей з порушенням слуху у закладах освіти. *Механіка та математичні методи*. 2025. Т. 7, № 1. С. 26–47. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2025-7-1-26-47

УДК 537.533:621.793:535.3

Сергій Сімченко, кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри робототехніки та технічних систем,
Ілона Сімченко, інженер кафедри робототехніки та технічних систем,
Державний університет інформаційно-комунікаційних
технологій, м. Київ, Україна
Володимир Капінус, здобувач освіти,
Заклад позашкільної освіти Палац дітей та молоді
Бердянської міської ради Запорізької області,
м. Запоріжжя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ТА МОРФОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛІВОК НА ОСНОВІ НІТРИДІВ МЕТАЛІВ

Анотація. У роботі досліджено процес формування тонких нітридних плівок TiN, CuN та AgN методом реакційного магнетронного напилення та проаналізовано їх спектральні характеристики у видимому діапазоні. Показано, що магнетронне розпилення забезпечує отримання плівок із високою адгезією, стабільними структурними параметрами та відтворюваними оптичними властивостями. Модернізація спектрального комплексу КСВУ-12 дала змогу підвищити чутливість вимірювань і автоматизувати реєстрацію сигналів. Виявлені характерні максимуми поглинання на довжинах хвиль 450 та 570 нм інтерпретовано як локальні та колективні коливання у системі «метал-азот». Отримані результати підтверджують перспективність нітридів TiN, CuN та AgN для застосування в оптоелектроніці, зокрема у селективних оптичних фільтрах та елементах сонячної енергетики.

Ключові слова: нітридні плівки; магнетронне напилення; оптичні властивості; спектральний аналіз; TiN; CuN; AgN; оптоелектроніка; тонкі плівки; плазмові технології.

Abstract. The paper investigates the process of forming thin nitride films of TiN, CuN and AgN by the method of reactive magnetron sputtering and analyzes their spectral characteristics in the visible range. It is shown that magnetron sputtering provides films with high adhesion, stable structural parameters and reproducible optical properties. The modernization of the spectral complex KSVU-12 made it possible to increase the sensitivity of measurements and automate signal registration. The characteristic absorption maxima detected at wavelengths of 450 and 570 nm were interpreted as local and collective oscillations in the “metal-nitrogen” system. The obtained results confirm the prospects of TiN, CuN and AgN nitrides for use in optoelectronics, in particular in selective optical filters and solar energy elements.

Keywords: nitride films; magnetron sputtering; optical properties; spectral analysis; TiN; CuN; AgN; optoelectronics; thin films; plasma technologies.

Сучасний розвиток матеріалознавства та оптоелектроніки значною мірою пов’язаний із дослідженням тонких плівок функціональних матеріалів. Особливе місце серед них займають нітридні плівки перехідних і благородних металів, що вирізняються високою хімічною стабільністю, зносостійкістю та специфічними оптичними властивостями [1-2], завдяки чому широко застосовуються у сенсорах, мікроелектроніці, плазмоніці та енергетичних технологіях [3].

Напівпровідникові нітриди металів становлять значний інтерес через поєднання унікальних оптичних, електричних і п’єзоелектричних властивостей [4], що робить TiN, CuN, AgN перспективними для сенсорів, пристроїв генерації поверхневих акустичних хвиль, фотонних кристалів і світлодіодів [5]. Завдяки широкій забороненій зоні ці матеріали придатні для детектування ультрафіолетового випромінювання та створення ефективних LED- і лазерних діодів [6].

Невелика невідповідність параметрів ґратки TiN і Si забезпечує формування майже ідеальних гетеропереходів [7]. Плівки TiN, CuN, AgN також розглядаються як віконні, антиблікові, захисні та струмознімальні шари дешевих СЕ великої площі [8]. Особливий інтерес становлять гетероструктури n-TiN/p-Si і n-CuN/p-Si, які характеризуються широкою фоточутливістю (560–2000 нм), низькою вартістю та доступністю матеріалів [9].

Для отримання тонких шарів TiN, CuN, AgN застосовують магнетронне розпилення, CVD та золь-гель-методи [10], однак властивості полікристалічних широкозонних плівок, отриманих цими технологіями, досліджені недостатньо, що стримує їх практичне використання.

Мета роботи – отримання тонких нітридних плівок TiN, CuN, AgN методом реакційного магнетронного напилення та дослідження їх спектральних характеристик для оцінки перспективності їх застосування в оптоелектроніці.

Формування плівок у термовакуумних системах ґрунтується на переході речовини в пароподібний стан, зокрема шляхом сублімації. Швидкість випаровування визначається співвідношенням

$$V_{\text{вип}} = 6 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{M}{T_y}},$$

де M – молекулярна маса. Для Al при T_y=1423 К отримано $V_{\text{вип}}$≈9·10^{-5} г/(см²·с). Для мінімізації розсіювання частинок тиск у камері підтримують на рівні 10^{-3}–10^{-5} Па.

Рівномірність покриття залежить від конструкції підкладкотримача: плоскі системи дають нерівномірність до ±20%, тоді як планетарні каруселі забезпечують точність ±3-4%. У термовакуумних установках застосовують дротяні, стрічкові, тигельні та лабіринтові випаровувачі залежно від типу матеріалу.

Резистивний нагрів є простим і ефективним, але може спричиняти забруднення плівки. Індукційний нагрів забезпечує якісне знегажування розплаву, проте потребує дорогого обладнання. Електронно-променеве випаровування дозволяє працювати з тугоплавкими матеріалами, однак для нітридів малоефективне через їх дисоціацію при надвисоких температурах.

Іонно-плазмові методи базуються на бомбардуванні мішені іонами Ar$^+$, що забезпечує високу адгезію та активацію поверхні підкладки. У магнетронних системах схрещені електричне й магнітне поля формують «магнітну пастку», яка підвищує іонізацію газу та локалізує плазму, забезпечуючи високі швидкості осадження при низьких температурах.

Експериментальна установка та методика. Дослідження виконано на вакуумному посту ВУП-5М із планарним магнетроном власної конструкції. Осадження проводили в середовищі Ar (1–10 Па) з додаванням азоту. Спектральні вимірювання здійснювали на модернізованій установці КСВУ-12 з високошвидкісною АЦП-системою та автоматизованою обробкою даних.

Аналіз результатів спектральних досліджень. Спектри плівок TiN, CuN та AgN у видимому діапазоні виявили два характерні максимуми: близько 450 нм (локальні коливання атомів азоту) та 570 нм (колективні коливання системи «метал-азот»). Оптичні властивості визначаються зонною структурою, морфологією поверхні та товщиною плівки, що формує інтерференційні ефекти й забезпечує селективність оптичного відгуку.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили, що метод реакційного магнетронного напилення є ефективним і керованим способом формування нітридних плівок із високою адгезією та стабільними відтворюваними властивостями. Спектральний аналіз у видимому діапазоні виявив характерні максимуми поглинання на довжинах хвиль 450 та 570 нм, що забезпечує можливість точної ідентифікації структури та фазового складу отриманих сполук. Модернізація спектрального комплексу КСВУ-12, зокрема впровадження автоматизованої системи реєстрації та підвищення чутливості вимірювального тракту, дала змогу значно покращити якість та достовірність експериментальних даних.

Отримані результати підтверджують високу практичну цінність нітридів TiN, CuN та AgN для оптоелектронних застосувань. Завдяки поєднанню низької вартості, доступності матеріалів та сприятливих оптичних характеристик ці сполуки є перспективними для створення ефективних сонячних елементів, селективних оптичних фільтрів та інших функціональних елементів сучасної фотоніки.

Список використаних джерел

1. Ohring M. Materials Science of Thin Films. 3rd ed. Academic Press, 2020. 896 p.
2. Mattox D. M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing. 2nd ed. Elsevier, 2020. 924 p.
3. Kelly P. J., Arnell R. D. Magnetron sputtering: A review of recent developments and applications. *Vacuum*, 2020. Vol. 56, no. 3. P. 159–172.

4. Chapman B. Glow Discharge Processes: Sputtering and Plasma Etching. Wiley, 2020. 432 p.
5. Lieberman M. A., Lichtenberg A. J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. 3rd ed. Wiley, 2022. 784 p.
6. Rossnagel S. M. Thin film deposition with physical vapor deposition and related technologies. *Journal of Vacuum Science & Technology A*. 2021. Vol. 39, no. 2, P. 020801.
7. Behrisch R., Eckstein W. Sputtering by Particle Bombardment. Springer, 2020. 504 p.
8. Vriens L. Energy balance in low-pressure gas discharges. *Journal of Applied Physics*, 2020. Vol. 127. P. 013301.
9. Sheridan T. E., Goree J. Electron energy distributions in sputtering plasmas. *Journal of Applied Physics*. 2020. Vol. 128. P. 093302.
10. Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. 4th ed. Wiley, 2021. 880 p.

УДК 514.182.7

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Олена Дереза, кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача
кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Андрій Чаплінський, старший викладач
кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ CASE-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ПРОЄКТУВАННІ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

Анотація. В роботі розглянуті питання забезпечення якості проєктів, які пов'язані з процесами верифікації, перевірки та тестування програмного забезпечення. Верифікація – це визначення того, наскільки поточний стан розробки відповідає вимогам певного етапу. Перевірка дає змогу оцінити відповідність результатів розробки початковим вимогам. Частково вона перетинається з тестуванням, яке спрямоване на виявлення відмінностей між фактичними та очікуваними результатами, а також на оцінювання відповідності характеристик програмного забезпечення встановленим вимогам. У процесі реалізації проєкту важливу роль відіграють питання ідентифікації, опису та контролю конфігурації окремих компонентів і всієї системи загалом. Управління конфігурацією є одним із допоміжних процесів, який підтримує основні процеси життєвого циклу програмного забезпечення, насамперед процеси розробки та супроводу ПЗ.

Ключові слова: інформаційна система (ІС), процес верифікації, тестування програмного забезпечення, неоднорідне середовище, апаратна платформа.

Abstract. This paper examines issues related to project quality assurance, specifically those involving software verification, validation, and testing. Verification involves determining the extent to which the current state of development meets the requirements of a specific phase. Validation allows for the assessment of whether the development results conform to the initial requirements. It partially overlaps with testing, which is aimed at identifying differences between actual and expected results, as well as evaluating the compliance of software characteristics with established requirements. During project implementation, issues related to the identification, description, and

control of the configuration of individual components and the entire system as a whole play an important role. Configuration management is one of the supporting processes that underpins the core processes of the software life cycle, primarily software development and maintenance.

Keywords: information system (IS), verification process, software testing, heterogeneous environment, hardware platform.

Сучасний розвиток інформаційних технологій спричиняє постійне ускладнення інформаційних систем (ІС), які створюються в різних сферах економіки [1]. Великі сучасні проєкти ІС зазвичай мають низку характерних рис:

- складність опису систем через значну кількість функцій, процесів, елементів даних та складних взаємозв’язків між ними, що потребує детального аналізу і моделювання;
- наявність великої кількості взаємопов’язаних компонентів і підсистем, кожна з яких виконує власні завдання та має окремі цілі функціонування [4]. Це можуть бути як програми для обробки транзакцій і виконання регламентованих операцій, так і аналітичні системи підтримки прийняття рішень, що працюють із великими обсягами даних;
- відсутність готових аналогів, через що використання стандартних проєктних рішень і типових прикладних систем є обмеженим [5];
- потреба в інтеграції вже існуючих програм із новими програмними розробками [1];
- функціонування систем у неоднорідному середовищі з використанням різних апаратних платформ;
- роз’єднаність і різний рівень підготовки команд розробників, а також відмінності у використанні інструментальних засобів та методів роботи [3];
- значна тривалість реалізації проєкту, що пояснюється як масштабністю організації-замовника, так і обмеженими можливостями команди розробників та різною готовністю окремих підрозділів до впровадження інформаційної системи.

Для успішного створення проєкту ІС необхідно насамперед правильно й точно описати об’єкт проєктування, а також побудувати повні та узгоджені функціональні й інформаційні моделі системи. Досвід розробки ІС свідчить, що це складний, трудомісткий і тривалий процес, який потребує високого рівня професійної підготовки спеціалістів. Проте раніше проєктування інформаційних систем здебільшого здійснювалося на інтуїтивному рівні з використанням неформалізованих методів, що базувалися на практичному досвіді, мистецтві розробників, експертних оцінках і дорогих експериментальних перевірках роботи системи. Крім цього, у процесі створення та використання ІС вимоги й потреби користувачів могли змінюватися або уточнюватися, що ще більше ускладнювало розробку та супровід систем.

У 70-80-х роках під час створення інформаційних систем широко використовувалася структурна методологія, яка забезпечувала розробників чіткими формалізованими методами опису ІС і технічних рішень [6]. Її основою було використання наочних графічних засобів – схем і діаграм, за допомогою яких описувалися різні моделі системи. Завдяки зрозумілості та чіткості структурного аналізу розробники й майбутні користувачі могли брати участь у створенні системи, обговорювати та узгоджувати основні технічні рішення ще на початкових етапах роботи.

Проте широке застосування цієї методології на практиці траплялося нечасто, оскільки без автоматизованих засобів реалізувати її було дуже складно. У ручному режимі важко створювати й графічно оформлювати точні формальні специфікації системи, перевіряти їх на повноту та узгодженість, а також вносити зміни [6]. Навіть якщо вдавалося підготувати якісну систему проєктної документації, її переробка при суттєвих змінах ставала майже неможливою. Через це ручне проєктування часто призводило до таких проблем:

• неточне або неповне визначення вимог до системи;

• неможливість своєчасно виявляти помилки в проєктних рішеннях;

• низька якість документації, що погіршувала експлуатацію системи;

• тривалий процес тестування та незадовільні результати перевірок.

З іншого боку, розробники ІС історично завжди стояли останніми в ряду тих, хто використовував комп'ютерні технології для підвищення якості, надійності і продуктивності у своїй власній роботі (феномен "чоботаря без чобіт").

Саме ці фактори стали причиною появи спеціального класу програмно-технологічних засобів – CASE-засобів, які реалізують CASE-технологію створення та супроводу інформаційних систем. Термін CASE (Computer Aided Software Engineering) сьогодні використовується у значно ширшому значенні, ніж раніше. Спочатку він стосувався лише автоматизації розробки програмного забезпечення, однак згодом почав охоплювати весь процес створення складних інформаційних систем.

Нині CASE-засобами називають програмні продукти, що підтримують усі етапи створення та супроводу ІС: аналіз і визначення вимог, проєктування програмного забезпечення та баз даних, генерацію програмного коду, тестування, документування, контроль якості, управління конфігураціями й проєктом, а також інші процеси розробки. Разом із системним програмним забезпеченням і технічними засобами CASE-засоби формують повноцінне середовище для створення інформаційних систем.

CASE-технологія являє собою методологію проектування ІС, а також набір інструментальних засобів, що дозволяють в наочній формі представити процес проектування.

Появі CASE-технологій передували численні дослідження у сфері методології програмування. Програмування почало набувати рис системного підходу завдяки розвитку мов високого рівня, методів структурного й модульного програмування, мов проєктування та засобів їх підтримки, а також формальних і неформальних мов опису системних вимог і специфікацій.

Крім того, розвитку CASE-технологій сприяли такі чинники:

• підготовка аналітиків і програмістів, які добре володіли принципами структурного та модульного програмування;

• активне впровадження комп'ютерної техніки та постійне зростання її продуктивності, що дало можливість використовувати ефективні графічні засоби й автоматизувати більшість етапів проєктування [2];

• розвиток мережевих технологій, які дозволили об'єднати роботу різних виконавців у єдиний процес проєктування за допомогою спільної бази даних із необхідною інформацією про проєкт [7].

Сучасні CASE-засоби охоплюють велику область підтримки численних технологій проектування ІС: від простих засобів аналізу і документування до повномасштабних засобів автоматизації, що покривають весь життєвий цикл ПЗ [3].

Найскладнішими та найбільш трудомісткими етапами створення інформаційних систем є аналіз і проєктування [4]. Саме на цих етапах CASE-засоби допомагають забезпечити високу якість технічних рішень і підготовку необхідної проєктної документації. Важливе значення при цьому мають методи візуального подання інформації. Вони передбачають створення структурних та інших видів діаграм у реальному масштабі часу, використання широкої кольорової палітри та автоматичну перевірку правильності побудови моделей. Графічні засоби моделювання предметної області дають змогу розробникам у наочній формі аналізувати вже існуючі інформаційні системи, удосконалювати їх відповідно до поставлених завдань і враховувати наявні обмеження.

До CASE-засобів належать як відносно недорогі програми для персональних комп'ютерів із обмеженим набором функцій, так і потужні дорогі системи, розраховані на роботу в неоднорідних обчислювальних середовищах і на різних апаратних платформах. Сьогодні ринок програмного забезпечення налічує близько 300 різновидів CASE-засобів, а найсучасніші з них активно використовуються провідними світовими компаніями.

Зазвичай CASE-засобами вважають програмні продукти, які автоматизують певні процеси життєвого циклу програмного забезпечення та мають такі основні характеристики: потужні графічні інструменти для опису й документування інформаційних систем, що забезпечують зручну взаємодію з розробником і підтримують його творчі можливості; інтеграцію окремих компонентів CASE-засобів, яка дозволяє ефективно керувати процесом створення інформаційної системи; використання спеціально організованого сховища проєктних даних і метаданих – репозиторію.

Інтегрований CASE-засіб або комплекс засобів, що підтримує повний життєвий цикл програмного забезпечення, зазвичай містить такі компоненти:

• репозиторій – основний елемент CASE-засобу, який забезпечує збереження версій проєкту та його складових, синхронізацію роботи різних розробників під час колективної роботи, а також перевірку даних на повноту й узгодженість;

• графічні засоби аналізу та проєктування, що дозволяють створювати й редагувати взаємопов’язані діаграми та моделі інформаційної системи;

• засоби розробки програмних додатків, зокрема мови четвертого покоління (4GL) і генератори програмного коду;

• засоби конфігураційного управління;

• засоби створення документації;

• засоби тестування програмного забезпечення;

• засоби управління проєктом;

• засоби реінжинірингу для модернізації та вдосконалення існуючих систем.

Усі сучасні CASE-засоби можна класифікувати за різними типами та категоріями. Класифікація за типами відображає функціональне призначення CASE-засобів і їх орієнтацію на певні процеси життєвого циклу системи. Класифікація за категоріями визначає рівень інтеграції виконуваних функцій і охоплює окремі локальні засоби, що вирішують невеликі самостійні завдання, комплекси частково інтегрованих засобів, які підтримують більшість етапів

життєвого циклу ІС, а також повністю інтегровані системи, що забезпечують підтримку всього життєвого циклу ІС і працюють на основі спільного репозиторію.

Крім цього, CASE-засоби можна класифікувати за такими ознаками:

• використовуваними методологіями та моделями систем і баз даних;

• рівнем інтеграції із системами управління базами даних (СУБД);

• доступними апаратними та програмними платформами.

Класифікація за типами переважно відповідає компонентному складу CASE-засобів і включає такі основні категорії:

• засоби аналізу (Upper CASE), які призначені для створення та дослідження моделей предметної області (Design/IDEF (Meta Software), BPwin (Logic Works));

• засоби аналізу та проєктування (Middle CASE), що підтримують найпоширеніші методології проєктування та застосовуються для формування проєктних специфікацій (Vantage Team Builder (Cayenne), Designer/2000 (ORACLE), Silverrun (CSA), PRO-IV (McDonnell Douglas), CASE.Аналітик (МакроПроджект)).

Результатом використання таких засобів є створення специфікацій компонентів та інтерфейсів системи, розробка архітектури, алгоритмів і структур даних.

• засоби проєктування баз даних, які забезпечують моделювання даних і автоматичне створення схем баз даних, зазвичай мовою SQL, для найпоширеніших СУБД. До таких засобів належать ERwin (Logic Works), S-Designor (SDP) і DataBase Designer (ORACLE). Засоби для проєктування баз даних також входять до складу CASE-засобів Vantage Team Builder, Designer/2000, Silverrun і PRO-IV;

• засоби розробки додатків. До цієї категорії належать засоби 4GL, зокрема Uniface (Compuware), JAM (JYACC), PowerBuilder (Sybase), Developer/2000 (ORACLE), New Era (Informix), SQL Windows (Gupta), Delphi (Borland) та інші, а також генератори програмного коду, що є складовою Vantage Team Builder, PRO-IV і частково Silverrun [2];

• засоби реінжинірингу, призначені для аналізу програмного коду та схем баз даних із подальшим створенням на їх основі різних моделей і проєктних специфікацій. Інструменти аналізу схем баз даних і побудови ERD входять до складу Vantage Team Builder, PRO-IV, Silverrun, Designer/2000, ERwin і S-Designor. У сфері аналізу програмного коду найбільшого поширення набули об'єктно-орієнтовані CASE-засоби, які забезпечують реінжиніринг програм, написаних мовою C++ (Rational Rose (Rational Software), Object Team (Cayenne)).

Допоміжні типи включають: засоби планування і управління проектом (SE Companion, Microsoft Project та ін.); кошти конфігураційного управління (PVCS (Intersolv)); кошти тестування (Quality Works (Segue Software)); кошти документування (SoDA (Rational Software)).

На сьогодні ринок програмного забезпечення містить наступні розвинені CASE-засоби: Vantage Team Builder (Westmount I-CASE); Designer / 2000; Silverrun; ERwin + BPwin; S-Designor; CASE.Аналітік.

Крім того, на ринку постійно з'являються як нові для вітчизняних користувачів системи (наприклад, CASE / 4/0, PRO-IV, System Architect, Visible Analyst Workbench, EasyCASE), так і нові версії і модифікації перерахованих систем.

Одним із ключових понять методології проєктування інформаційних систем є життєвий цикл програмного забезпечення (ЖЦ ПЗ). Життєвий цикл ПЗ – це безперервний процес, який починається з моменту прийняття рішення про створення програмного забезпечення та завершується його повним виведенням з експлуатації.

Основним нормативним документом, який регламентує життєвий цикл програмного забезпечення, є міжнародний стандарт ISO/IEC 12207 (ISO – International Organization of Standardization, Міжнародна організація зі стандартизації; IEC – International Electrotechnical Commission, Міжнародна електротехнічна комісія). Цей стандарт визначає структуру життєвого циклу, яка

включає процеси, дії та завдання, що повинні виконуватися під час створення програмного забезпечення.

Структура ЖЦ ПЗ відповідно до стандарту ISO/IEC 12207 базується на трьох основних групах процесів:

• основні процеси життєвого циклу ПЗ (придбання, постачання, розробка, експлуатація та супровід);

• допоміжні процеси, які забезпечують підтримку основних процесів (документування, управління конфігурацією, забезпечення якості, верифікація, атестація, оцінювання, аудит і розв'язання проблем);

• організаційні процеси (управління проєктами, створення інфраструктури проєкту, визначення, оцінка й удосконалення життєвого циклу, а також навчання персоналу).

Розробка охоплює всі роботи, пов'язані зі створенням програмного забезпечення та його компонентів відповідно до встановлених вимог. До цього входять оформлення проєктної й експлуатаційної документації, підготовка матеріалів для перевірки працездатності та якості програмних продуктів, а також матеріалів для навчання персоналу. Зазвичай процес розробки ПЗ включає аналіз, проєктування та програмування.

Експлуатація передбачає впровадження компонентів програмного забезпечення в робоче середовище, налаштування баз даних і робочих місць користувачів, забезпечення необхідною документацією та проведення навчання персоналу [7]. Крім того, вона охоплює безпосереднє використання системи, виявлення та усунення проблем, модифікацію програмного забезпечення відповідно до встановлених правил, а також підготовку пропозицій щодо вдосконалення й модернізації системи.

Управління проєктом пов'язане з плануванням і організацією робіт, формуванням команди розробників та контролем термінів і якості виконання завдань [8]. Технічне й організаційне забезпечення проєкту включає вибір методів

та інструментальних засобів реалізації, визначення способів опису проміжних етапів розробки, створення методів і засобів тестування програмного забезпечення, а також навчання персоналу.

Забезпечення якості проєкту пов'язане з процесами верифікації, перевірки та тестування програмного забезпечення. Верифікація – це визначення того, наскільки поточний стан розробки відповідає вимогам певного етапу. Перевірка дає змогу оцінити відповідність результатів розробки початковим вимогам. Частково вона перетинається з тестуванням, яке спрямоване на виявлення відмінностей між фактичними та очікуваними результатами, а також на оцінювання відповідності характеристик програмного забезпечення встановленим вимогам.

У процесі реалізації проєкту важливу роль відіграють питання ідентифікації, опису та контролю конфігурації окремих компонентів і всієї системи загалом. Управління конфігурацією є одним із допоміжних процесів, який підтримує основні процеси життєвого циклу програмного забезпечення, насамперед процеси розробки та супроводу ПЗ.

При створенні проектів складних ІС, що складаються з багатьох компонентів, кожен із яких може мати різні варіанти або версії, виникає проблема обліку їхніх зв'язків і функцій, формування уніфікованої структури та забезпечення розвитку всієї системи. Управління конфігурацією дозволяє організувати, систематично враховувати й контролювати внесення змін у ПЗ на всіх стадіях ЖЦ. Загальні принципи та рекомендації щодо конфігураційного обліку, планування і управління конфігураціями ПЗ відображені у стандарті ISO 12207-2.

Кожен процес характеризується певними завданнями, методами їх виконання, вхідними даними, отриманими на попередньому етапі, а також результатами роботи. Зокрема, результатами аналізу є функціональні моделі, інформаційні моделі та відповідні діаграми. ЖЦ ПЗ має ітераційний характер,

тобто результати чергового етапу часто спричиняють зміни в проєктних рішеннях, прийнятих на попередніх етапах.

Сутність структурного підходу до розробки ІС полягає в її декомпозиції, тобто поділі на автоматизовані функції: система поділяється на функціональні підсистеми, які далі розбиваються на підфункції, завдання та окремі процедури. Процес декомпозиції триває до рівня конкретних процедур. При цьому автоматизована система зберігає цілісне уявлення, у якому всі компоненти взаємопов'язані. Якщо ж розробка здійснюється «знизу-вгору», від окремих завдань до всієї системи, цілісність втрачається, що створює проблеми під час інтеграції окремих компонентів.

Усі найпоширеніші методології структурного підходу базуються на низці загальних принципів. Основними базовими принципами є:

• принцип «розділяй і володарюй» – спосіб вирішення складних проблем шляхом їх поділу на менші незалежні завдання, які легше зрозуміти та розв'язати;

• принцип ієрархічного впорядкування – організація складових частин проблеми у вигляді ієрархічних деревоподібних структур із поступовим додаванням нових деталей на кожному рівні.

Виділення лише двох базових принципів не означає, що інші є менш важливими, оскільки нехтування будь-яким із них може призвести до серйозних наслідків, включаючи провал усього проекту. До основних принципів також належать:

• принцип абстрагування – виділення суттєвих характеристик системи та відокремлення від несуттєвих деталей;

• принцип формалізації – необхідність застосування чіткого методичного підходу до вирішення поставлених завдань;

• принцип несуперечності – забезпечення обґрунтованості та узгодженості всіх елементів системи;

• принцип структурування даних – дані повинні бути впорядкованими та організованими за ієрархічним принципом.

У структурному аналізі переважно використовуються дві групи засобів, які відображають функції, та взаємозв'язки між даними. Кожній із цих груп відповідають певні типи моделей і діаграм, серед яких найпоширенішими є:

• SADT (Structured Analysis and Design Technique) – моделі та відповідні функціональні діаграми.

• DFD (Data Flow Diagrams) діаграми потоків даних;

• ERD (Entity-Relationship Diagrams) діаграми "сутність-зв'язок".

На стадії проектування ІС моделі розширюються, уточнюються і доповнюються діаграмами, що відбивають структуру програмного забезпечення: архітектуру ПЗ, структурні схеми програм і діаграми екранних форм.

Перераховані моделі в сукупності дають повний опис ІС незалежно від того, чи є вона існуючої чи знову розробляється. Склад діаграм у кожному конкретному випадку залежить від необхідної повноти опису системи.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
2. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення Adobe Audition. *Розвиток сучасної науки та освіти :* матеріали IV Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
3. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації* : матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
4. Alrefo I. F., Rawashdeh M. O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines.

Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
5. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk, O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082. ISSN 2071-2227
6. Паляничка Н. О., Вершков О. О., Антонова Г. В. Аналіз новітніх пристроїв для гомогенізації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2017. Вип. 17, т. 3. С. 194-200.
7. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення Adobe Audition. *Розвиток сучасної науки та освіти* : матеріали IV Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
8. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації :* матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.

УДК 514.182.7

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДСИСТЕМ МАШИННОЇ ГРАФІКИ ТА ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. Для візуалізації моделей у сучасних робочих станціях, де використовуються растрові дисплеї, необхідно виконувати пастеризацію, тобто перетворення моделі у растрову форму. Зворотний процес переходу до векторної форми, що характеризується меншими витратами пам'яті, називається векторизацією. Зокрема, векторизація застосовується для обробки даних, отриманих шляхом сканування зображень у пристроях автоматичного введення.

Ключові слова: математичне забезпечення, проектування САПР, ієрархічні рівні проектування, параметричний синтез, формалізація задач синтезу, інваріанти, сканування зображень, екстремум цільової функції.

Abstract. To visualize models on modern workstations equipped with raster displays, it is necessary to perform rasterization, i.e., the conversion of a model into raster form. The reverse process of converting back to vector form, which requires less memory, is called vectorization. In particular, vectorization is used to process data obtained by scanning images in automatic input devices.

Keywords: mathematical support, CAD design, hierarchical design levels, parametric synthesis, formalization of synthesis problems, invariants, image scanning, objective function extremum.

Математичне забезпечення (МЗ) поєднує математичні моделі проектованих об'єктів, методи та алгоритми виконання проектних процедур, які застосовуються в автоматизованому проектуванні [1-3].

Елементи МЗ є дуже різноманітними, серед них існують інваріантні елементи, що широко використовуються в різних САПР. До таких елементів належать принципи побудови функціональних моделей, методи чисельного

розв’язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь, постановка екстремальних задач та методи пошуку екстремуму.

Специфіка предметних областей проявляється насамперед у математичних моделях (ММ) проектованих об’єктів, а також у методах розв’язання задач структурного синтезу. Форми представлення МЗ також є різноманітними, проте його практичне застосування стає можливим лише після реалізації ПЗ. Процес проектування в САПР може бути представлений у вигляді схеми (рис. 1.)

Основна частина. Аналіз динамічних процесів здійснюється шляхом розв’язання звичайних диференціальних рівнянь (з відомими початковими умовами) виду [1, 2]:

$$F\,(dU / dt),\ V,\ t) = 0 \qquad (1)$$

де $V=(U, W)$ – вектор фазових змінних; U – вектор, що характеризує запаси енергії в елементах об’єкта; t – час.

Рішення ОДУ дозволяє отримати залежність вектора фазових змінних $V=(U, W)$ від t в табличній формі.

Більшість вихідних параметрів Y проектованих об’єктів є функціоналами залежностей V(t), наприклад визначеними інтегралами, екстремальними значеннями та іншими характеристиками. Розв’язання системи (1) і обчислення вихідних параметрів-функціоналів становлять основу процедури аналізу перехідних процесів.

Аналіз статичних станів об’єктів також може бути виконано шляхом інтегрування рівнянь типу (1), але, оскільки в статиці $dU/dt=0$, такий аналіз може бути зведений до вирішення систем алгебраїчних рівнянь

$$F\,(V) = 0. \qquad (2)$$

При проектуванні САУ важливе значення має задача аналізу стійкості. Аналіз чутливості полягає у визначенні впливу внутрішніх і зовнішніх параметрів хі на вихідні параметри уj. Кількісна оцінка цього впливу подається у вигляді таблиці чутливості А з елементами aij=dyj/di.

Статистичний аналіз проводиться з метою отримання відомостей про розподіл параметрів yj при заданих статистичних характеристиках параметрів xi. Результати статистичного аналізу можуть бути представлені у вигляді гістограм розподілу yj, а також оцінок числових характеристик розподілів: мат. очікування, дисперсії тощо.

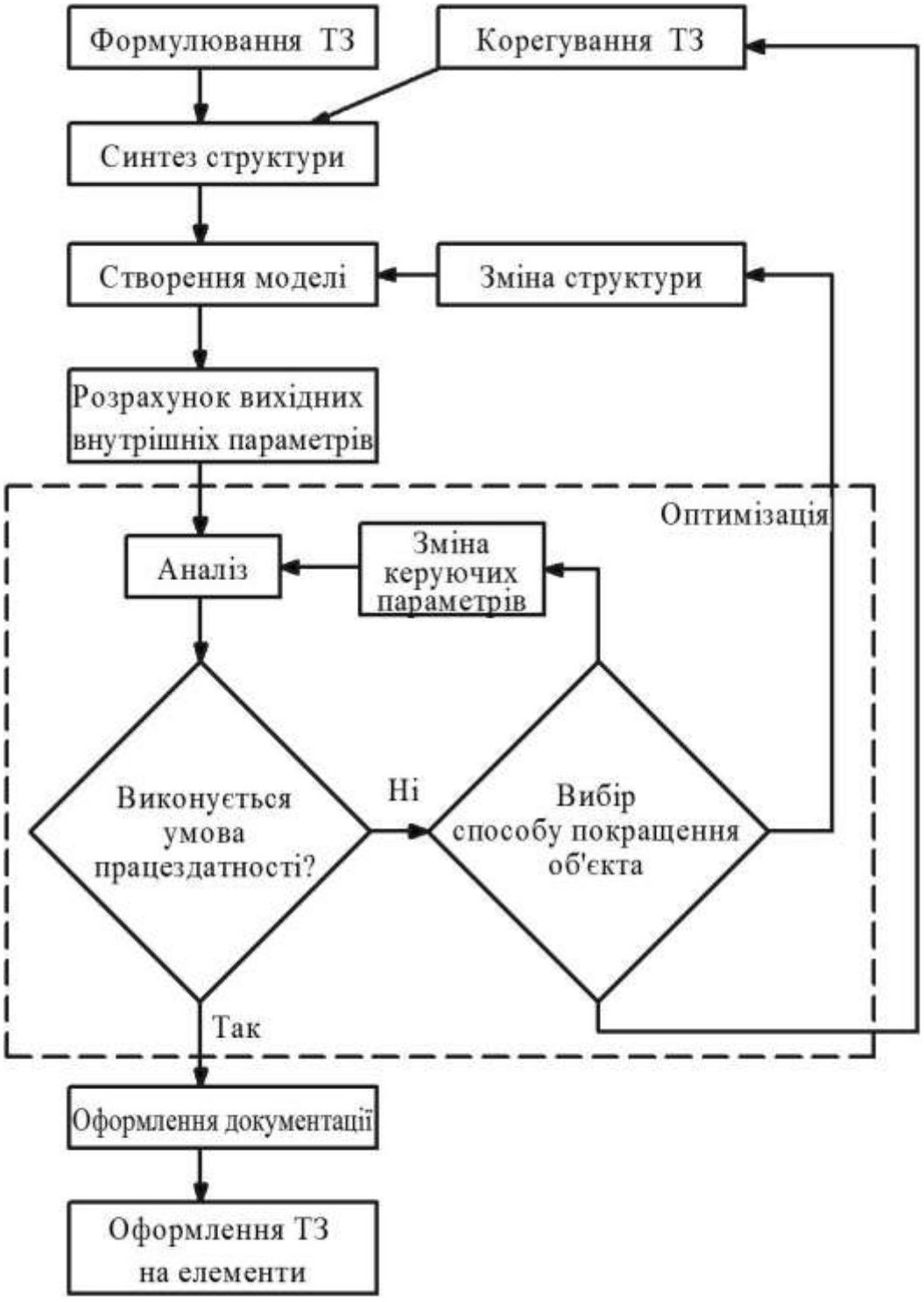


Рис. 1. Схема процесу проєктування

До завдань параметричного синтезу відноситься сукупність завдань, пов'язаних з визначенням вимог до параметрів об'єкта, номінальних значень параметрів і їх допусків. Завдання параметричного синтезу можуть бути класифіковані на 3 групи:

- призначення технічних вимог;
- розрахунок параметрів елементів;
- ідентифікація математичних моделей.

Група 1 задач параметричного синтезу пов'язана з формуванням технічних вимог до вихідних параметрів об'єкта.

Група 2 задач параметричного синтезу стосується розрахунку параметрів елементів об'єкта при заданій структурі системи.

Група 3 задач параметричного синтезу пов'язана з визначенням параметрів математичних моделей, що використовуються в САПР, а також із встановленням меж їх адекватності.

Завдання математичного програмування формулюється наступним чином:

$$extr\ F(X), \qquad X \in ХД \tag{3}$$

тобто необхідно знайти екстремум цільової функції $F(X)$, яку називають функцією якості, у межах допустимої області $ХД$ зміни керуючих параметрів X. Область $ХД$ може задаватися совокупністю обмежень типу нерівностей

$\phi(X) \geq 0$ та типу рівностей $\psi(X)=0$.

Завдання структурного синтезу класифікують за такими ознаками [1-3]:

– залежно від стадії проектування, на якій проводиться синтез;

– в залежності від можливостей формалізації;

– за типом синтезованих структур.

Розглянемо ці завдання більш докладно. Залежно від стадії проектування, на якій проводиться синтез, розрізняють процедури:

– вибір основних ознак функціонування майбутнього об’єкта;

– вибір технічного рішення в рамках заданих принципів функціонування;

– оформлення технічної документації.

Залежно від можливостей формалізації задачі синтезу поділяють на кілька рівнів складності.

До 1-го рівня складності належать задачі, у яких необхідно виконати лише параметричний синтез, а структура об’єкта вже визначена специфікою ТЗ або результатами попередніх етапів проектування.

До 2-го рівня складності належать задачі, для яких можливий повний перебір відомих рішень. Це комбінаторні задачі вибору елементів у скінченних множинах невеликої потужності.

До 3-го рівня складності відносять комбінаторні задачі, які за наявних технічних і програмних засобів неможливо розв’язати методом повного перебору за прийнятний проміжок часу.

До 4-го рівня складності належать задачі пошуку варіантів структур у рахункових множинах невідомої або необмеженої потужності. Формалізація таких задач створює значні труднощі.

найбільші труднощі, проте саме вони відкривають можливість отримання нових оригінальних патентоспроможних рішень.

До 5-го рівня належать задачі синтезу, розв’язання яких є особливо складним і проблематичним. Основна проблема полягає у знаходженні принципово нових підходів до побудови цілого класу технічних об’єктів.

До МЗ аналізу належать математичні моделі, чисельні методи та алгоритми виконання проектних процедур.

Компоненти МЗ визначаються базовим математичним апаратом, характерним для кожного ієрархічного рівня проектування.

На мікрорівні типові математичні моделі представлені диференціальними рівняннями в частинних похідних разом із крайовими умовами [1, 2]. Такі моделі

називають розподіленими, і до них належить значна кількість рівнянь математичної фізики. Об'єктами дослідження на цьому рівні є поля фізичних величин, що необхідно під час аналізу міцності будівельних конструкцій або машинобудівних деталей, дослідження процесів у рідких середовищах, моделювання концентрацій і потоків частинок в електронних приладах тощо.

Кількість одночасно досліджуваних різних середовищ у практично використовуваних моделях мікрорівня не може бути великою через складність обчислень. Значно зменшити обчислювальні витрати в багатокомпонентних середовищах можна лише шляхом використання іншого підходу до моделювання, заснованого на введенні певних припущень.

Допущення, пов'язане з дискретизацією простору, дозволяє перейти до моделей макрорівня. Моделі макрорівня, які також називають зосередженими, являють собою системи алгебраїчних і звичайних диференціальних рівнянь, оскільки незалежною змінною тут залишається лише час t. Спрощення опису окремих компонентів дає можливість створювати моделі процесів у пристроях, приладах і механічних вузлах, кількість компонентів у яких може досягати кількох тисяч.

У випадках, коли кількість компонентів у досліджуваній системі перевищує певний поріг, складність моделі макрорівня знову стає надмірною. Тому, використовуючи відповідні припущення, переходять до функціонально-логічного рівня. На цьому рівні застосовують апарат передаточних функцій для дослідження аналогових (безперервних) процесів, а також апарат математичної логіки та кінцевих автоматів, якщо об'єктом дослідження є дискретний процес, тобто процес із дискретною множиною станів.

Для дослідження ще складніших об'єктів, таких як виробничі підприємства, обчислювальні системи та мережі, соціальні системи й інші подібні структури, використовують апарат теорії масового обслуговування, а також інші підходи, наприклад мережі Петрі. Такі моделі належать до системного рівня моделювання.

Сутність проектування полягає у прийнятті проектних рішень, які забезпечують відповідність майбутнього об’єкта поставленим вимогам. Синтез проектних рішень є основою проектування, адже саме від успішності виконання процедур синтезу значною мірою залежать споживчі властивості майбутньої продукції. Аналіз, у свою чергу, є необхідною складовою проектування, оскільки використовується для верифікації прийнятих проектних рішень. Саме аналіз забезпечує отримання необхідної інформації для цілеспрямованого виконання процедур синтезу в ітераційному процесі проектування. Тому синтез і аналіз є нерозривно пов’язаними між собою.

Синтез поділяють на параметричний і структурний. Проектування починається зі структурного синтезу, під час якого формується принципове рішення. Таким рішенням може бути форма майбутнього літального апарата, фізичний принцип роботи датчика, один із типових варіантів конструкції двигуна або функціональна схема мікропроцесора. Однак ці конструкції та схеми задаються у параметричному вигляді, тобто без конкретних числових значень параметрів елементів. Тому перед початком верифікації проектного рішення необхідно визначити або розрахувати значення цих параметрів, тобто виконати параметричний синтез. Прикладами результатів параметричного синтезу можуть бути геометричні розміри деталей у механічному вузлі або оптичному приладі, параметри електрорадіоелементів в електронній схемі, параметри режимів різання в технологічних операціях тощо.

Якщо за результатами аналізу проектне рішення визнається недостатньо ефективним, розпочинається процес послідовних наближень до прийнятного варіанта проекту. У багатьох випадках для вдосконалення проекту доцільніше змінювати значення параметрів елементів, тобто використовувати параметричний синтез на основі багатоваріантного аналізу. У такому випадку задача параметричного синтезу формулюється як задача визначення таких значень параметрів елементів, які найкраще задовольняють вимоги технічного завдання

при незмінній структурі проектованого об’єкта. Тоді параметричний синтез називають параметричною оптимізацією або просто оптимізацією [1, 2]. Якщо ж параметричний синтез не дає необхідного результату, повторюють процедури структурного синтезу, тобто на наступних ітераціях змінюють або заново обирають структуру об’єкта.

Підсистеми машинної графіки і геометричного моделювання (МГіГМ) займають центральне місце в машинобудівних САПР [3]. Конструювання виробів у таких системах, як правило, виконується в інтерактивному режимі при роботі з геометричними моделями, тобто математичними об’єктами, які відображають форму деталей, склад складальних вузлів, а також деякі додаткові параметри, наприклад масу, момент інерції чи колір поверхні.

У підсистемах МГіГМ типовий маршрут обробки даних включає отримання проектного рішення в прикладній програмі, подання цього рішення у вигляді геометричної моделі, підготовку проектного рішення до візуалізації, безпосередню візуалізацію на апаратурі робочої станції та, за необхідності, коригування рішення в інтерактивному режимі. Дві останні операції реалізуються за допомогою апаратних засобів машинної графіки. Коли йдеться про математичне забезпечення МГіГМ, мають на увазі насамперед моделі, методи та алгоритми геометричного моделювання і підготовки до візуалізації. Часто саме МЗ підготовки до візуалізації називають МЗ машинної графіки.

Розрізняють МЗ двовимірного (2D) і тривимірного (3D) моделювання. Основними сферами застосування 2D-графіки є підготовка креслярської документації в машинобудівних САПР, а також топологічне проектування друкованих плат і кристалів ВІС у САПР електронної промисловості. У сучасних машинобудівних САПР використовують як 2D-, так і 3D-моделювання для синтезу конструкцій, подання траєкторій робочих органів верстатів при обробці заготовок, генерації сіток кінцевих елементів під час аналізу міцності тощо.

У 3D-моделюванні розрізняють каркасні (дротяні), поверхневі та об’ємні (твердотільні) моделі.

Каркасна модель описує форму деталі у вигляді кінцевої множини ліній, розташованих на поверхні деталі. Для кожної лінії задаються координати кінцевих точок і визначається їх інцидентність ребрам або поверхням. Однак використовувати каркасні моделі на наступних етапах проектування незручно, тому сьогодні вони застосовуються рідко.

Поверхнева модель відображає форму деталі шляхом задання поверхонь, які її обмежують, наприклад у вигляді сукупності даних про грані, ребра та вершини.

Особливе місце займають моделі деталей зі складними поверхнями, так званими скульптурними поверхнями. До таких деталей належать корпуси багатьох транспортних засобів, зокрема суден і автомобілів, а також деталі, що взаємодіють із потоками рідин і газів, наприклад лопатки турбін або крила літаків.

Об’ємні моделі відрізняються тим, що в них у явному вигляді міститься інформація про належність елементів простору до внутрішньої або зовнішньої частини деталі.

На сьогодні застосовують такі підходи до побудови геометричних моделей:

1. Задання граничних елементів — граней, ребер і вершин.
2. Кінематичний метод, відповідно до якого задається двовимірний контур і траєкторія його переміщення; поверхня, утворена під час переміщення контуру, приймається за поверхню деталі.
3. Позиційний підхід, згідно з яким простір поділяється на окремі клітинки (позиції), а деталь задається шляхом визначення комірок, що їй належать; недоліком такого підходу є його громіздкість.
4. Подання складної деталі у вигляді сукупності базових елементів форми (БЕФ) та виконання над ними теоретико-множинних операцій.

До БЕФ належать заздалегідь створені моделі простих геометричних тіл, зокрема паралелепіпеда, циліндра, сфери та призми. Основними теоретико-

множинними операціями є об’єднання, перетин і різниця. Наприклад, модель плити з отвором може бути отримана шляхом віднімання циліндра від паралелепіпеда.

Метод, заснований на використанні БЕФ, часто називають методом конструктивної геометрії [3]. Саме він є основним способом конструювання складальних вузлів у сучасних САПР-К.

У пам’яті ЕОМ розглянуті моделі зазвичай зберігаються у векторній формі, тобто як сукупність координат точок, що визначають елементи моделі. Операції конструювання також виконуються над моделями у векторному вигляді. Найбільш компактною вважається модель, представлена у вигляді сукупності взаємопов’язаних БЕФ, яка найчастіше використовується для зберігання й обробки інформації про вироби в системах конструктивної геометрії.

Список використаних джерел

1. Alrefo I. F., Rawashdeh M. O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytet*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
2. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.*, 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082
3. Мацулевич О.Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т.1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13

УДК 621.383.51:621.315.592:004.942

Альона Дяденчук, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики і фізики,
Сергій Носань, асистент кафедри електротехніки і
електромеханіки імені професора В.В.Овчарова,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛЕГУВАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ ШАРІВ У ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. У роботі досліджено вплив концентрації легування та товщини шарів на ефективність фотоперетворювачів на основі гетероструктури ZnO/porous-Si/Si. Моделювання виконано у середовищі PC1D та доповнено чисельними експериментами в Matlab, що дозволило оцінити поведінку фотогенерації, рекомбінаційних процесів та параметрів ВАХ за різних конфігурацій структури. Встановлено, що оптимальні значення товщини ZnO (10 мкм), porous-Si (1 мкм) та концентрації легування ZnO (10^{19} $см^{-3}$) забезпечують максимальну ефективність 22,6%. Надмірне легування призводить до зростання рекомбінаційних втрат, що підтверджено моделями Matlab. Результати можуть бути використані для оптимізації конструкції високоефективних кремнієвих фотоперетворювачів.

Ключові слова: фотоперетворювач; легування; товщина шарів; рекомбінаційні процеси; моделювання PC1D; Matlab; ефективність сонячних елементів.

Abstract. The work investigates the influence of doping concentration and layer thickness on the efficiency of photoconverters based on the ZnO/porous-Si/Si heterostructure. The modeling was performed in the PC1D environment and supplemented with numerical experiments in Matlab, which allowed us to evaluate the behavior of photogeneration, recombination processes and I-V characteristics parameters for different configurations of the structure. It was found that the optimal values of the ZnO thickness (10 μm), porous-Si (1 μm) and ZnO doping concentration (10^{19} cm^{-3}) provide the maximum efficiency of 22.6%. Excessive doping leads to an increase in recombination losses, which is confirmed by Matlab models. The results can be used to optimize the design of high-efficiency silicon photoconverters.

Keywords: photoconverter; doping; layer thickness; recombination processes; PC1D modeling; Matlab; solar cell efficiency.

Підвищення ефективності сонячних елементів залишається одним із ключових напрямів розвитку сучасної відновлюваної енергетики [1]. Одним із перспективних шляхів є оптимізація просторової структури та електрофізичних параметрів гетероструктур, зокрема на основі комбінації ZnO та поруватого кремнію. ZnO виступає прозорим провідним шаром і антивідбивним покриттям, тоді як porous-Si забезпечує покращену пасивацію поверхні та зменшення рекомбінаційних втрат [2].

Моделювання дозволяє досліджувати вплив параметрів структури без необхідності виготовлення фізичних зразків, що значно скорочує витрати та прискорює оптимізацію. Програмне забезпечення PC1D широко застосовується для аналізу сонячних елементів [3], тоді як Matlab дає змогу створювати додаткові чисельні моделі для виявлення закономірностей та оптимумів [4].

Сучасні дослідження демонструють, що ефективність кремнієвих сонячних елементів суттєво залежить від товщини активних шарів та концентрації легування [5, 6]. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягати ефективності понад 20% у монокристалічних структурах [7]. ZnO розглядається як перспективний прозорий електрод завдяки високій провідності та низькому поглинанню [2, 8]. Поруватий кремній покращує пасивацію поверхні та зменшує рекомбінаційні втрати [9]. Наші попередні роботи показали, що включення porous-Si у структуру фотоперетворювача суттєво впливає на параметри ВАХ та фотогенерацію [2, 10-11]. Однак питання оптимізації легування ZnO та геометрії шарів у гетероструктурі ZnO/porous-Si/Si досі залишаються недостатньо вивченими.

З урахуванням вищезазначеного, ***метою дослідження*** є визначення оптимальних значень товщини шарів та концентрації легування у гетероструктурі ZnO/porous-Si/Si, які забезпечують максимальну ефективність фотоперетворення, шляхом моделювання у PC1D та Matlab.

Дослідження було зосереджене на аналізі того, як зміна просторової конфігурації та рівня легування впливає на фотоелектричні характеристики

гетероструктури ZnO/porous-Si/Si. Вихідною моделлю слугувала тришарова структура, у якій ZnO виконує роль прозорого електрода та віконного шару, porous-Si – буферного шару з покращеною пасивацією поверхні, а монокристалічний Si – базового поглинального шару [12]. Для забезпечення коректності моделювання використовували фізичні параметри матеріалів, наведені у сучасних джерелах, а також експериментальні дані, отримані авторами у попередніх роботах.

На першому етапі було досліджено вплив товщини шарів на фотогенерацію та рекомбінаційні процеси. Моделювання у PC1D показало, що поведінка структури суттєво залежить від того, наскільки глибоко світло проникає в активні області та в яких зонах відбувається основна генерація носіїв. Виявлено, що збільшення товщини ZnO до певної межі сприяє покращенню поглинання у короткохвильовому діапазоні, однак подальше зростання товщини призводить до посилення об’ємної рекомбінації, що знижує корисний струм. Аналогічно, porous-Si демонструє оптимальну поведінку лише в межах невеликої товщини: надто тонкий шар не забезпечує достатньої пасивації, тоді як надто товстий – створює додаткові втрати через дефектність та збільшення шляху дифузії носіїв. На рис. 1, що ілюструє залежність ефективності від товщини ZnO та porous-Si, чітко простежується область максимуму, яка відповідає комбінації 10 мкм та 1 мкм відповідно. Поверхня має виражений пік, що підтверджує наявність оптимальної геометрії структури.

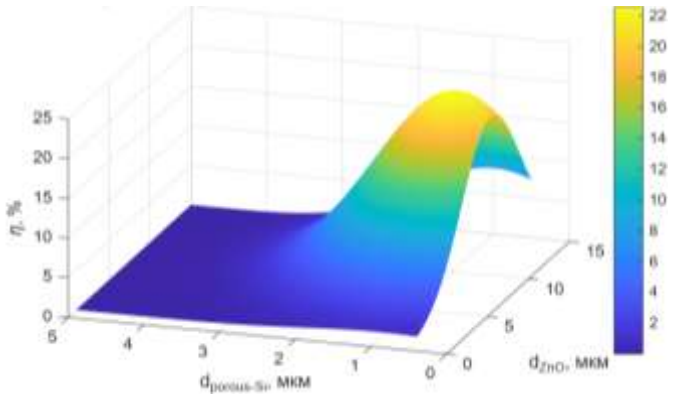


Рис. 1. Залежність умовної ефективності від товщини шарів ZnO та porous-Si

Другий етап дослідження був присвячений впливу концентрації легування ZnO. Оскільки цей шар одночасно виконує функції прозорого електрода та активного n-шару, його електрофізичні параметри визначають як провідність, так і рекомбінаційні властивості. Моделювання у PC1D показало монотонне зростання напруги та струму до концентрації близько 10^{19} $см^{-3}$, після чого ефективність починає знижуватися [12]. Для підтвердження цієї тенденції було побудовано додаткову модель у Matlab, яка дозволила відтворити характерну гаусоподібну залежність ефективності від логарифма концентрації легування. На рис. 2 видно, що максимум ефективності досягається саме в області 10^{19} $см^{-3}$, тоді як надмірне легування призводить до різкого зменшення часу життя носіїв меншості та збільшення ймовірності їх рекомбінації ще до досягнення гетеропереходу.

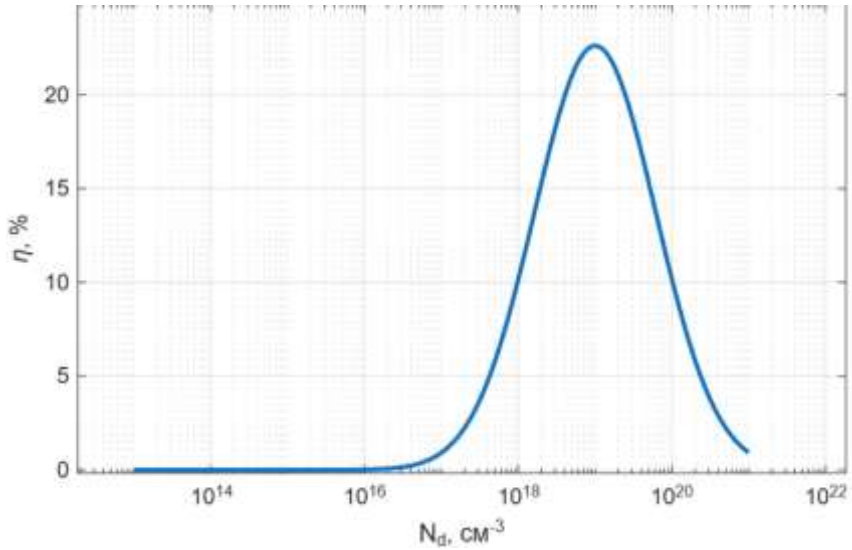


Рис. 2. Умовна залежність ефективності від концентрації легування ZnO

Отримані результати свідчать про те, що ефективність фотоперетворювача визначається тонким балансом між оптичними та електричними властивостями структури. З одного боку, збільшення товщини ZnO покращує поглинання та зменшує відбиття, а підвищення концентрації легування – зменшує серійний опір. З іншого боку, надмірне збільшення будь-якого з цих параметрів неминуче призводить до зростання рекомбінаційних втрат. Саме тому оптимальні значення

параметрів не є максимальними, а лежать у певному вузькому діапазоні, що підтверджено як моделями PC1D, так і чисельними експериментами у Matlab.

Таким чином, проведене дослідження дозволило не лише визначити оптимальні параметри гетероструктури ZnO/porous-Si/Si, але й продемонструвати механізми, які обмежують ефективність при відхиленні від цих значень. Візуалізація результатів у вигляді поверхонь та кривих залежностей, що будуть наведені у статті, наочно підтверджує отримані висновки та підкреслює важливість комплексного підходу до оптимізації фотоперетворювачів.

Список використаних джерел

1. Новицький С. В., Зур'ян О. В. Фотоелектричні перетворювачі. Види, ефективність. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. Т. 1 (88). С. 92-102.
2. Дяденчук А. Ф., Філіпович Є. В. Моделювання функціональних характеристик сонячних елементів на основі ZnO і TiO2. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 1. С. 212-222. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-20
3. Chuah L. S., Hassan A. M., Rais A. R. M. Numerical Optimization and Performance Analysis of Monocrystalline Silicon Solar Cells via PC1D Simulation. *Silicon*. 2026. P. 1-15. https://doi.org/10.1007/s12633-025-03607-x
4. Yousfi A., Saidani O., Bennia R., Saoud F. S., Saidi L., Bhattarai S., ... Sahoo G. S. Numerical simulation of high-efficiency double-absorber layer perovskite solar cells using SCAPS-1D and MATLAB PV models. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*. 2025. V. 26(3). P. 366-379. https://doi.org/10.1007/s42341-025-00606-y
5. Bouderbala I. Y., Hamdi N. E. Effects of absorber layer thickness and doping density on the performance of perovskite solar cells: a simulation analysis using SCAPS-1D software. *Algerian Journal of Engineering and Technology*. 2023. V. 8(1). P. 131-137. https://doi.org/10.57056/ajet.v8i1.101
6. Das B., Aguilera I., Rau U., Kirchartz T. Effect of doping, photodoping, and bandgap variation on the performance of perovskite solar cells. *Advanced optical materials*. 2022. V. 10(13). P. 2101947. https://doi.org/10.1002/adom.202101947
7. Hashmi G., Akand A. R., Hoq M., Rahman H. Study of the enhancement of the efficiency of the monocrystalline silicon solar cell by optimizing effective parameters using PC1D simulation. *Silicon*. 2018. V. 10(4). P. 1653-1660. https://doi.org/10.1007/s12633-017-9649-3

8. Hussain B., Ebong A., Ferguson I. Zinc oxide as an active n-layer and antireflection coating for silicon based heterojunction solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2015. V. 139. P. 95-100. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.03.017
9. Дяденчук А. Ф., Кідалов В. В. Гетероструктури n-ZnO: Al/porous-CdTe/p-CdTe в якості фотоелектричних перетворювачів. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2017. V. 15(3). P. 487-494.
10. Dyadenchuk A. F., Oleksenko R. I. Simulation photoconverters of porous-Si/Si with different anti-reflective coatings. *International Journal of Mathematics and Physics*. 2023. V. 14(2). P. 89-94. https://doi.org/10.26577/ijmph.2023.v14.i2.010
11. Dyadenchuk A. Modeling of photovoltaic characteristics of a TiO2/porous-Si/Si-based heterojunction solar cell. *Nano Hybrids and Composites*. 2024. V. 43. P. 13-22. https://doi.org/10.4028/p-0b3juI
12. Носань С. В., Дяденчук А. Ф. Вплив інженерії легування та просторової конфігурації структури на енергетичну ефективність фотоперетворювачів ZnO/porous-Si/Si. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2026. № 1. С. 10-15. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-1-1

УДК 514.182.7

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ОБРОБКА СКАНОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. В роботі наведене порівняльний аналіз пакетної векторизації та ручного оцифрування отриманих зображень з повторним створенням моделей. Авторами зазначається, що векторизацію можна виконувати поступово, якщо це необхідно та можливо за умови, що є можливість збереження архів зображень в електронному вигляді.

Ключові слова: сканування зображень, векторизація, оцифрування зображень, цифрова модель, векторно-растрове редагування.

Abstract. The paper presents a comparative analysis of batch vectorization and manual digitization of the obtained images with repeated creation of models. The authors note that vectorization can be performed gradually, if necessary and possible, provided that there is a possibility of saving the image archive in electronic form.

Keywords: image scanning, vectorization, image digitization, digital model, vector-raster editing.

Растрові файли бувають різних типів - монохромні (складаються з точок лише двох кольорів), напівтонові (256 відтінків сірого) і кольорові. Такі файли можна переглядати, друкувати, зберігати, копіювати, передавати замовнику, розміщувати в електронному архіві, використовувати в електронному документообігу та працювати з ними в САПР. Для когось останнє твердження буде абсолютно новим, для когось – суперечливим, а для багатьох – буденною роботою. Поки що більшість користувачів, які не працювали зі сканованими матеріалами,

знають лише одне гіпнотизуюче слово – векторизація, а тому планують свої подальші дії наступним чином:

Ідеальний теоретичний варіант:

– сканування паперових документів, отримання растрових зображень;
– векторизація, тобто перетворення растрової графіки у векторну;
– завантаження отриманих даних у векторний редактор і робота з ними.

При роботі з программами векторно-растрового редагування все просто, ясно і зрозуміло, але завжди чекаєш підступу, а на конференціях Sapro постійно повторюється питання: «Яке програмне забезпечення краще для векторизації?»

Реальний варіант, або ідеальний варіант на практиці - в цьому випадку хтось радить Coral Trace, десь ви чули про Vectory, якийсь колега рекомендує третю програму.Ви можете брати участь у форумах, дзвонити постачальникам, отримати демо (чи якусь іншу) версію жаданого векторизатора, відсканувати (більш брудний) малюнок, знайти кнопку автоматичної векторизації, але результат найчастіше розчаровує.

Хто не впадає у відчай, все ж почне читати документацію і дізнається про відмінності між автоматичною та напівавтоматичною векторизацією, але уникає висновку «Так, ми все це швидше перемалюємо!» дуже важко.

Чи можна було все зробити інакше? Наведемо випадок з практики.

Завдання: Користувачеві терміново потрібно було випустити нову документацію, внісши зміни в існуючий проект на папері.

Умови: обмежений час, відсутність креслярської дошки (а також бажання нею користуватися), наявність сканера та AutoCAD.

Варіант рішення: без векторизатора, без нудного перемальовування:

відскановані зображення завантажені в AutoCAD;

за допомогою команд AutoCAD Imageclip і Imageframe користувач залишав видимими лише незмінні фрагменти зображення;

відсутні частини були намальовані за допомогою інструментів AutoCAD.

Хоча все було якось неромантично і невишукано, але наступного ранку проект був завершений, надрукований, зданий, гроші за нього отримані (як же не зробити!) і продукт випущений.

Щоб відповісти на ці сакраментальні питання, підприємству, яке впритул підійшло до вирішення проблеми використання паперового архіву в САПР, необхідно правильно сформулювати реальні проблеми. Відразу уточнимо один важливий момент: векторизація растрової графіки не є метою, а одним із можливих шляхів вирішення ваших проблем!

Документи скануються та проходять мінімальну первинну обробку. У цьому випадку спотворення усувається і проводиться ретельне (щоб уникнути втрати інформації) очищення від сміття.

Документи хорошої і середньої якості скануються в монохромному режимі і зберігаються в одному з найбільш підходящих для цього форматів - TIFF групи стиснення 4. Документи поганої якості (сині, n-ті копії оригіналів і т. д.) краще сканувати в напівтоновому режимі (256 відтінків сірого). Хоча ці файли значно більші за розміром, ви зберігаєте інформацію, яка може бути втрачена під час монохромного сканування.

Головною помилкою є намагання примусово перевести всі документи, що завантажуються в електронний архів, у векторний формат. Це неправильно з двох причин: по-перше, після векторизації або перемальовування ви отримуєте новий документ з новими помилками і без старих підписів (зауважте, що сканований документ є точною копією того, що був на папері); по-друге, витрачання часу на перемальовування або виправлення результатів векторизації поховає всі добрі наміри переходу на нову технологію.

Не економте на техніці, адже ми не такі багаті, щоб купувати дешеве. Поставтеся до покупки сканера серйозно: ознайомтеся з пропонованими моделями, їх характеристиками і т.д. Пам’ятайте, що тільки професійне обладнання забезпечує професійні результати, з якими легко і зручно працювати.

Не намагайтеся сканувати широкоформатні документи на офісних сканерах А4 сумнівного походження. Правда, ці порвані шматки можна «зшити» програмно, але якщо це зробити правильно, то втрата часу і якості дуже скоро зведуть таку економію нанівець.

Не поспішайте сканувати стахановськими темпами! Не забувайте, що надалі вам доведеться працювати зі сканованими документами, а це висуває високі вимоги до якості сканування. Насолоджуйтеся налаштуваннями під час сканування документів різної якості.

Завжди пам’ятайте про співвідношення DPI (оптична роздільна здатність сканування)/розмір файлу.

Чим вище роздільна здатність сканування, тим точніше растрове зображення, більше його розмір і ресурси, необхідні для його обробки. Справжній майстер сканування шукає золоту середину: щоб розмір був справжній і щоб якість збереглася.

При скануванні великої кількості документів однакової якості можна організувати пакетну (автоматизовану) обробку за заданим сценарієм.

Ви можете автоматично реєструвати файли зображень у базі даних (системі документообігу) одночасно зі скануванням.

При організації електронного архіву рекомендується наступне програмне забезпечення:

RasterID 1.1 - для вихідних документів хорошої та середньої якості. Корекція сканованих зображень, пакетна обробка та індексація зображень у міру надходження зі сканера;

Spotlight 5.1 - для вихідних документів різної якості. Корекція сканованих зображень, організація пакетної обробки за заданим сценарієм.

Колишні паперові, а тепер відскановані документи дуже приємно бачити на екрані монітора, але рано чи пізно вам дійсно захочеться з ними попрацювати:

використати готовий фрагмент у новому проекті, внести накопичені зміни, оновити документацію, змінивши номери ГОСТу, дизайн, ім’я та прізвище в штампі тощо.

Можливі варіанти:

Варіант 1 - перемальовування в програмі САПР

Крок 1: висококваліфікований фахівець або студент-практикант починає «галерейну» роботу - перемальовування раніше намальованого (добре, щоб оригінал був на екрані, а не на столі).

Крок 2: необхідно перевірити, чи відповідає новий векторний документ оригінальному (паперовому чи растровому).

Крок 3. Ви можете почати вносити необхідні зміни.

Варіант 2 - векторизація

Крок 1. Векторизація дає задовільні результати лише на якісних малюнках. У всіх інших випадках необхідний етап поліпшення якості та корекції відсканованого зображення.

Крок 2: налаштування та виконання векторизації.

Крок 3: корекція отриманих векторів, перевірка розпізнаних текстів.

Крок 4: перевірте, чи новий документ відповідає вимогам застосування необхідних команд редагування до виділених даних;

Під час побудови нових об’єктів можна використовувати прив’язку об’єктів як до векторних, так і до растрових даних.

Таким чином ви змінюєте, векторизуєте, додаєте лише те, що потрібно змінити, векторизувати чи додати, а інші частини документа залишаються незмінними, що економить ваш час і зайву роботу.

Тепер давайте приблизно порахуємо час, витрачений на один середній аркуш в кожному з розглянутих варіантів:

Перемальовування: перемальовування як таке – 4 години; перевірка відповідності нового документа оригіналу - 15 хвилин; внесення необхідних змін - 30 хв. Разом: 4 години 45 хвилин.

Векторизація: підвищення якості сканованого зображення – 15 хв; векторизація з попереднім налаштуванням - 15 хв; перевірка та корекція результатів векторизації – 1 година; внесення змін - 30 хв. Разом: 2 години

Гібридний монтаж: підвищення якості – 15 хв.; внесення змін - 30 хв. Разом: 45 хв.

Залишилося лише помножити витрачений час на кількість аркушів проекту й отримати цифри, які вводять у стан глибоких роздумів.

Який би варіант ви не вибрали, кінцевим результатом буде той самий проект. Незалежно від того, чи буде він растровим, векторним чи гібридним, дуже красивим чи не особливо, за цим проектом у майстерні виготовлятимуть однакові вироби та виконуватимуть однакові роботи.Якщо ваш клієнт (в тому числі іноземний) просить надати документацію в електронному вигляді, пам’ятайте, що електронним є не тільки векторний документ, а й растровий або гібридний!

У далекому від нас світі дизайну іноземні замовники документацію найчастіше передають у растровому форматі, оскільки за векторний формат, який є інтелектуальною власністю розробника, замовнику доведеться заплатити набагато більшу суму.

Для редагування сканованих зображень можна рекомендувати такі програми:

Spotlight 5.1/Spotlight Pro 5.1 - забезпечить корекцію сканованих зображень, внесення необхідних змін, додавання нових растрових і векторних даних, вибіркову векторизацію в напівавтоматичному та автоматичному (у версії Pro) режимах, розпізнавання тексту (у версії Pro) тощо;

RasterDesk 5.1/RasterDesk Pro 5.1 ідеально підходить для користувачів AutoCAD для роботи з растровою графікою у звичному середовищі проектування. Векторні операції виконуються засобами AutoCAD; можливості редагування растру та векторизації такі ж, як і в Spotlight.

Звичайно, є завдання, які вимагають обов’язкової векторизації - повного або часткового перетворення растрової графіки у векторний формат. До таких завдань

відносяться параметричне та тривимірне моделювання, підготовка даних для верстатів з ЧПК, підготовка даних для створення геоінформаційних систем (ГІС), для отримання тривимірного рельєфу, для моделювання та розрахунків у системах інженерного аналізу тощо.

Сьогодні векторизація стає все більш розумною. Зовсім недавно векторизатор розпізнавав лише елементарні об’єкти (лінії, дуги та полілінії), потім векторизатор став навчальним, а тепер він може розпізнавати растрові символи (наприклад, елементи електричних і технологічних схем). З’явилася програма PlanTracer, яка перетворює результати необробленої векторизації планів поверхів в «розумні» об’єкти (стіни, сходи, двері, вікна) і перетворює 2D-креслення в тривимірну модель.

Векторизація може бути автоматичною або напівавтоматичною. При напівавтоматичній векторизації растрові дані перетворюються послідовно (об’єкт за об’єктом) у векторні об’єкти. Автоматична векторизація дозволяє перетворити все растрове зображення або його виділений фрагмент у векторний формат.

При векторизації картографічних матеріалів майже завжди використовується напівавтоматична векторизація (трассування).

У параметричному та 3D моделюванні дані, отримані за допомогою векторизації, можна використовувати як ескіз. Елементам ескізу слід надати параметричні обмеження та призначити розміри.Автоматична векторизація дає задовільні результати лише на малюнках хорошої та середньої якості. Зображення низької якості перед векторизацією потрібно покращити.

Вирішивши повністю конвертувати скановані зображення у векторний формат, перечитайте розділ про редагування растрових зображень у цій статті.

Не натискайте на «червону кнопку», даючи програмі відскановане вороніння брудніше: на жаль, чудес не буває.

Щоб отримати хороші результати векторизації та розпізнавання тексту, налаштуйте параметри цих операцій якомога точніше та точніше.

Рекомендовані програми для векторизації сканованих зображень

Для цих цілей ми рекомендуємо наступне програмне забезпечення:

Spotlight 5.1/RasterDesk 5.1 - для векторизації та редагування картографічних матеріалів. RasterDesk можна вбудувати в AutoCAD, Autodesk Map і Autodesk Land Desktop;

Spotlight Pro 5.1/RasterDesk Pro 5.1 - для векторизації та редагування машинобудівних, будівельних, архітектурних креслень, схем каротажу свердловин тощо;

PlanTracer 1.0 - для перетворення векторизованих або двовимірних креслень плану поверху в інтелектуальну 3D-модель (може включати модуль векторизації);

Vectory 6.0 - для автоматичної векторизації машинобудівних, будівельних, архітектурних креслень хорошої та середньої якості (програма не призначена для редагування та покращення якості растрів).

Можливо, хтось побачить у наших міркуваннях злий умисел обмовити вже заплановану векторизацію. Це, звичайно, неправда. Повторимо ще раз: при розв’язуванні багатьох задач векторизація необхідна. Мета цієї статті — захистити вас від непотрібної та невиправданої векторизації у випадках, коли це можливо.

Чому так часто, коли йдеться про використання паперових або сканованих документів у САПР, на думку спадає лише векторизація чи перемальовування? Перша причина, здається, полягає в незнанні альтернативних варіантів. Інше треба шукати в звичайній інерції (згадайте, як важко було впроваджувати САПР на наших підприємствах, але зараз ми не можемо уявити, що можна думати і працювати інакше, ніж в AutoCAD, КОМПАС тощо). Тут можна порекомендувати наступне: чітко розділити завдання нового оформлення та редагування документів, раніше створених на папері. Для другого випадку слід зважити різні варіанти, порівняти часові та трудові витрати на їх реалізацію.

Можливим бар’єром також можуть стати рідні контролюючі та архівні служби, які не хочуть приймати документацію, аргументуючи відмову

«підвищеною кудлатістю» растрових ліній: очі звикли до ідеально прямих векторів.Шановні панове, приймаю проектну документацію! Візуальна елегантність – це, звичайно, дуже круто, але повірте: чи танку, чи вагону метро абсолютно байдуже, конструкторська документація на них виконана «кудлатими» або прямими лініями. Якщо вам потрібен проект реставрації даху, навіщо перемальовувати всю будівлю? І звідки, до речі, ці неякісні скановані малюнки? Найчастіше – з власного архіву. Крім того, сучасне програмне забезпечення дозволяє проектувати не тільки векторні, а й растрові та гібридні креслення відповідно до ГОСТу.

Декого може налякати вартість: спочатку обладнання, потім програмне забезпечення. Але коли явно назріла потреба перевести документацію в електронний вигляд, до роботи пускаються звичайні дизайнери... перемальовувати вже намальоване, переробляти вже зроблене. Скільки коштує їхній час?

Хтось виправдовує перемальовування і повну векторизацію гаслом «На майбутнє!», але, можливо, в самому найближчому майбутньому ви станете щасливим володарем професійного сканера і необхідного програмного забезпечення, а ваші фахівці будуть приділяти весь свій час творчій, високооплачуваній роботі, щоб інвестиції окупилися в незаплановані короткі терміни...

Переваги векторних моделей незаперечні: пошарове зберігання інформації; додавання семантики та створення системи гіперпосилань; моделювання та аналіз; тривимірне моделювання; швидке і зручне редагування та інші властивості математичної моделі.

Найбільш продуктивним способом отримання векторної моделі з растру є використання спеціальних програм-векторизаторів. Російська промислова компанія пропонує кілька програм векторизації: CAD Overlay (Autodesk, США), GTXRaster CAD і GTXImage CAD (GTX, США), Easy Trace (Easy Trace Group,

Росія), MapEDIT (Resident, Росія). У цій статті ми наведемо основні характеристики цих програм, а потім докладніше розглянемо кожну з них.

Якість майбутньої векторної моделі визначається на етапі сканування: чим якісніше буде відсканований матеріал, тим легше з ним буде працювати і тим швидше і якісніше буде виконана векторизація. Легкі растри з роздільною здатністю 200-400 dpi добре обробляються. Сканування креслень і планшетів можна виконувати на сканері будь-якого розміру, оскільки програми дозволяють «зшивати» растри. Векторизатори працюють не тільки з монохромними, але і з кольоровими зображеннями та фотографіями.

Загальний функціонал програм векторизації: завантаження растру в графічних форматах, налаштування системи координат, трансформація, обрізка та обертання растру. Крім того, вирівнювання в межах 10° може виконуватися автоматично. Потім растрове зображення можна масштабувати, переміщувати, копіювати, відображати, зшивати окремі растрові масиви, зберігати та виводити на зовнішні пристрої.Растр можна очистити від дрібних частинок - «бруду», заповнити невеликі прогалини в растровому зображенні, згладити «зазубрини», а також частково видалити растр. Редагування растру – це малювання растрових примітивів та операції з растровими об’єктами (копіювання, переміщення, обертання, видалення тощо). Растрову та пізнішу векторну моделі можна масштабувати відповідно до розмірів, доступних на кресленні. Також виконується зворотне перетворення – векторної графіки в растрову.

Програма Easy Trace призначена для роботи з растровими картографічними зображеннями. Векторизація виконується в напівавтоматичному режимі. Трасувальник автоматично розпізнає та векторизує вибрані контури (контури, пунктирні або пунктирні лінії), площі та точкові об’єкти. Автоматично перевіряється топологія (пошук помилок – незамикання, перекриття тощо), можна створювати класифікатори та зв’язувати семантичну інформацію. Програма повністю русифікована.

Обробка кольорового растру та кольороподіл виконується в програмі Rainbow, яка спочатку була створена як модуль Easy Trace, і наразі може використовуватися локально для підготовки кольорових растрів для подальшої векторизації в інших пакетах.

Програма MapEDIT призначена для створення та редагування цифрових векторних карт із растрових зображень. У MapEDIT PRO додана можливість фотограмметричної обробки зображень.

CAD Overlay – це гібридний редактор, який розширює можливості AutoCAD і застосовний як для креслень, так і для планів і карт. Має зручний інструмент для трасування примітивів САПР (ліній, поліліній, дуг, кіл), плавних контурів тощо. Дозволяє векторизувати монохромні, кольорові та сірі зображення (фото). Підтримує 3D моделювання.

Програмне забезпечення GTX є найповнішим із усього спектру векторизаторів. Серія GTXRaster CAD працює на платформі AutoCAD, GTXImage CAD є локалізованою програмою. Обидва продукти абсолютно ідентичні. Відмінні риси векторизаторів GTX:

– автоматична та напівавтоматична векторизація;

– розпізнавання растрового тексту (з налаштуванням під користувача, включаючи кириличний і рукописний текст);

– розширені можливості для інтелектуального розпізнавання растрових об’єктів (ліній, кіл, дуг), їх сегментів, тексту, а також інтелектуальної прив’язки до растру (перетинів, кінців ліній, центрів фігур);

– зручні інструменти растрового та векторного редагування: вирізання та доведення лінії до перетину з об’єктом; автоматичний поворот ліній по горизонталі/вертикалі; приведення кіл до єдиного центру або радіуса; виставлення оцінок в напівавтоматичному режимі.

За результатами векторизації можна побудувати тривимірну модель.

Висновки. Підсумовуючи, хотілося б відзначити, що хоча пакетна векторизація вимагає редакційної роботи, з точки зору продуктивності вона має величезну перевагу перед ручним оцифруванням і повторним створенням моделі. Векторизацію можна виконувати поступово, якщо це необхідно та можливо; в цьому випадку гібридна (растрово-векторна) модель вже почне працювати у вас. Головне, що тепер ваш архів можна зберігати в електронному вигляді, він зручно структурований, надійно захищений, компактний, а матеріали сподобаються будь-якому замовнику.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
2. Мацулевич О. Є., Вершков О. О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12

УДК 614.84:628.1

Олександр Сіпко, старший викладач кафедри державного нагляду
у сфері пожежної та техногенної безпеки,
Національний університет цивільного захисту України,
м. Черкаси, Україна

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Анотація. У матеріалах розглянуто проблему забезпечення надійності протипожежного водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій. Обґрунтовано потребу поєднання резервних джерел води, автоматизованого контролю, автономного живлення насосного обладнання та локальної підготовки води. Запропоновано розглядати внутрішнє й зовнішнє протипожежне водопостачання як єдину адаптивну систему, здатну підтримувати мінімально необхідні параметри подавання води за часткової втрати інфраструктури.

Ключові слова: протипожежне водопостачання, надзвичайна ситуація, надійність, резервування, очищення води, пожежогасіння.

Abstract. The paper considers the problem of ensuring the reliability of firefighting water supply in emergency conditions. The need to combine reserve water sources, automated monitoring, autonomous power supply for pumping equipment and local water treatment is substantiated. Internal and external firefighting water supply systems are considered as a single adaptive system capable of maintaining the minimum required water supply parameters in case of partial infrastructure failure.

Keywords: fire water supply, emergency, reliability, redundancy, water treatment, firefighting.

Протипожежне водопостачання є однією з базових інженерних складових пожежної безпеки будівель, об’єктів і населених пунктів. Його ефективність визначається не лише наявністю трубопроводів, пожежних гідрантів, резервуарів, насосних станцій або внутрішніх пожежних кранів, а й здатністю системи забезпечити необхідні витрату, напір і тривалість подавання води у фактичних умовах пожежі. У штатному режимі ці параметри задаються проєктними рішеннями та вимогами до внутрішніх і зовнішніх мереж водопостачання [1,2].

Проте під час надзвичайних ситуацій робота системи може ускладнюватися пошкодженням трубопроводів, зниженням тиску, відключенням електроенергії, забрудненням джерел води та обмеженням доступу пожежно-рятувальної техніки.

Актуальність теми зумовлена потребою переходу від оцінювання окремих елементів протипожежного водопостачання до аналізу стійкості всієї системи. Традиційний підхід переважно орієнтований на нормальні умови експлуатації, коли джерела води, мережевий тиск і працездатність обладнання розглядаються як контрольовані параметри. В умовах надзвичайної ситуації частина елементів може бути недоступною або працювати з погіршеними характеристиками. Тому доцільно враховувати не лише нормативну відповідність мережі, а й її здатність функціонувати при часткових відмовах, дефіциті води та порушенні енергозабезпечення.

Метою роботи є обґрунтування інноваційних підходів до підвищення надійності протипожежного водопостачання шляхом поєднання технічного резервування, автоматизованого контролю, альтернативних джерел води та локальних систем її підготовки. У цьому контексті протипожежне водопостачання доцільно розглядати як багаторівневу систему, що охоплює джерело води, споруди забору й накопичення, насосне обладнання, зовнішню мережу, внутрішні системи будівель, засоби моніторингу та організаційні рішення щодо їх застосування під час реагування.

Внутрішнє протипожежне водопостачання забезпечує оперативне подавання води до осередку пожежі на початковому етапі її розвитку. Його значення зростає у багатоповерхових, громадських, виробничих і складських будівлях, де час прибуття підрозділів та прокладання рукавних ліній може бути критичним. Основна проблема таких систем в умовах надзвичайної ситуації полягає у залежності від зовнішньої водопровідної мережі та електропостачання. Перспективним є застосування комбінованих схем, у яких будівля має власний запас води для пожежогасіння, резервне живлення насосів, можливість

підключення пожежно-рятувальної техніки та контроль фактичного тиску в ключових точках мережі.

Зовнішнє протипожежне водопостачання має забезпечувати подавання води на рівні населеного пункту, промислової території або окремого об’єкта. Його працездатність залежить від пропускної здатності магістральних і розподільчих мереж, кількості та розміщення пожежних гідрантів, наявності резервуарів, водойм, насосних станцій і можливості під’їзду пожежної техніки. Вимоги до зовнішніх систем водопостачання визначаються ДБН В.2.5-74:2013 [2]. Для підвищення стійкості мережі доцільно передбачати кільцювання трубопроводів, резервні ємності, додаткові точки забору води, автономне живлення насосного обладнання та актуальні цифрові карти пожежних гідрантів.

Інноваційний розвиток протипожежного водопостачання пов’язаний із переходом від статичного опису системи до оцінювання її фактичної працездатності. Практично це може реалізовуватися через датчики тиску, рівня води, стану насосів, електроживлення та положення запірної арматури. У разі падіння тиску, зменшення запасу води або відмови насоса система має формувати попередження для відповідальних осіб. Такий моніторинг дозволяє виявляти небезпечні відхилення до моменту виникнення пожежі, коли часу на усунення несправності вже недостатньо.

Окремим напрямом є застосування мобільних і модульних технічних засобів: пересувних насосних станцій, рукавних магістралей, мобільних резервуарів, контейнерних насосних модулів, установок для забору води з відкритих водойм та комплексів попереднього очищення. Такі рішення не замінюють стаціонарну мережу, але підвищують її гнучкість у разі аварійного дефіциту води або руйнування частини інфраструктури. Їх доцільно передбачати у планах реагування територіальних громад, промислових підприємств та об’єктів критичної інфраструктури.

Питання очищення води в умовах надзвичайних ситуацій має прикладне значення. Для пожежогасіння вода не завжди повинна відповідати вимогам питної якості, однак її фізико-хімічні характеристики мають бути сумісними з насосним обладнанням, трубопроводами, пожежними стволами, спринклерними оросниками та піноутворювачами. Надмірна кількість механічних домішок може спричинити засмічення фільтрів і вузлів керування, а агресивний хімічний склад води – прискорити корозію металевих елементів. Вимоги до контролювання якості води можуть використовуватися як орієнтир для оцінювання забруднення та вибору способу її підготовки [3].

В умовах пошкодження централізованого водопостачання перспективним є використання відкритих водойм, ставків, технічних резервуарів, накопичувальних ємностей дощової води, артезіанських свердловин і тимчасових резервуарів. Кожне джерело слід оцінювати за обсягом доступної води, можливістю швидкого забору, якістю води та безпечністю під'їзду. Наявність води як ресурсу не гарантує її ефективного використання для пожежогасіння, якщо відсутні майданчики для встановлення техніки, всмоктувальні пристрої, фільтри або обладнання для перекачування.

Ризик-орієнтований підхід передбачає диференціацію технічних рішень залежно від типу об'єкта, рівня пожежної небезпеки та можливих сценаріїв порушення інфраструктури. Для житлової багатоповерхової забудови пріоритетними є зонування внутрішніх мереж, стабільність тиску та справність пожежних кран-комплектів. Для промислових підприємств важливими є великі витрати води, стійкість насосних станцій і сумісність води з піноутворювачами. Для об'єктів критичної інфраструктури необхідно передбачати автономність, дублювання джерел, захист вузлів керування та можливість роботи в умовах обмеженого доступу.

Практична реалізація запропонованих підходів потребує поєднання інженерних, організаційних та інформаційних заходів. На етапі проєктування

доцільно виконувати сценарний аналіз відмов: відключення електроживлення насосної станції, руйнування ділянки трубопроводу, зниження рівня води в резервуарі або недоступність частини гідрантів. На етапі експлуатації необхідними є регулярні випробування мережі на водовіддачу, перевірка арматури, уточнення карт гідрантів і відпрацювання взаємодії між експлуатуючими організаціями та підрозділами реагування. Загальні засади цивільного захисту створюють організаційну основу для такої взаємодії [5].

Висновки. Протипожежне водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій доцільно розглядати як адаптивну інженерну систему, здатну працювати за часткової втрати інфраструктури. Перспективними напрямами розвитку є технічне резервування, автоматизований контроль, використання альтернативних джерел води, мобільних насосних і накопичувальних засобів, а також локальних систем очищення. Для внутрішніх систем пріоритетними є автономність водоживлення, резервне електропостачання насосів і контроль фактичного тиску, а для зовнішніх систем – кільцювання мереж, доступність гідрантів, резервні ємності та цифрові карти джерел води. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методики кількісного оцінювання стійкості протипожежного водопостачання з урахуванням імовірності відмов, доступності водних ресурсів та часу розгортання технічних засобів реагування.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ: Мінрегіон України, 2013.
2. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіон України, 2013.
3. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014.
4. ДСТУ EN 12845:2016. Стаціонарні системи пожежогасіння. Автоматичні спринклерні системи. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 12845:2015, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

5. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17 (дата звернення: 18.05.2026).

УДК 614.84:004.9:69.032.22

Ірина Мельник, викладач кафедри державного нагляду
у сфері пожежної та техногенної безпеки,
Національний університет цивільного захисту України,
м. Черкаси, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ У ВИСОТНИХ БУДІВЛЯХ НА ОСНОВІ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ

Анотація. У тезах обґрунтовано доцільність переходу від фрагментарного технічного моніторингу пожежної небезпеки у висотних будівлях до інформаційно-аналітичного підходу, орієнтованого на профілактичне управління ризиками. Розглянуто джерела моніторингових даних, напрями їх оброблення та можливість визначення пріоритетів для оглядів, технічного обслуговування і коригування протипожежних заходів. Уточнено практичну роль аналітичної інтерпретації даних для пожежної профілактики.

Ключові слова: пожежна профілактика, висотна будівля, моніторинг, інформаційно-аналітичний підхід, пожежний ризик, системи протипожежного захисту.

Abstract. The paper substantiates the transition from fragmented technical monitoring of fire hazards in high-rise buildings to an information-analytical approach focused on preventive risk management. The main sources of monitoring data and the possibility of setting priorities for inspections, maintenance and adjustment of fire safety measures are considered. The practical role of analytical interpretation of monitoring data for fire prevention is clarified.

Keywords: fire prevention, high-rise building, monitoring, information-analytical approach, fire risk, fire protection systems.

Пожежна профілактика у висотних будівлях потребує не лише встановлення технічних засобів виявлення пожежі, а й постійного аналізу інформації про фактичний стан будівлі, інженерних систем і потенційних джерел небезпеки. За даними ДСНС України, пожежі залишаються поширеним видом надзвичайних подій, що спричиняють людські, матеріальні та соціальні втрати [1]. Для висотної забудови ці ризики посилюються значною кількістю людей на різних рівнях,

складністю евакуації, залежністю безпеки від вертикальних комунікацій, протидимного захисту, систем оповіщення та диспетчеризації.

У сучасних дослідженнях висотні будівлі розглядаються як складні об’єкти протипожежного захисту, де небезпека формується сукупністю архітектурно-планувальних, технічних і організаційних чинників [2]. У таких умовах моніторинг не повинен обмежуватися передаванням сигналу про пожежу або несправність. Його доцільно використовувати як джерело даних для завчасного виявлення проблемних зон, оцінювання працездатності систем і планування профілактичних дій.

Попереднє дослідження було присвячене інтеграції сенсорних засобів, інфрачервоного контролю, безпілотних літальних апаратів, елементів штучного інтелекту та взаємодії систем пожежної безпеки з інженерною інфраструктурою висотної будівлі [5]. З метою уникнення дублювання раніше отриманих результатів у цих тезах увагу зосереджено на використанні моніторингових даних для прийняття профілактичних управлінських рішень.

Інформаційно-аналітичний підхід до пожежної профілактики можна визначити як систему збирання, перевірки, узагальнення та інтерпретації даних моніторингу з подальшим формуванням переліку практичних заходів. Такий підхід не замінює нормативні вимоги до проєктування, монтування, експлуатації та технічного обслуговування систем пожежної сигналізації і протипожежного захисту [3], а доповнює їх регулярним аналізом фактичного стану об’єкта.

Основними джерелами даних у висотній будівлі можуть бути адресні пожежні сповіщувачі, датчики температури й задимлення, системи контролю стану клапанів і вентиляторів протидимного захисту, сигнали від електропостачання, резервного живлення, ліфтів, вентиляції, диспетчеризації та відеоспостереження. Для профілактики важливо враховувати не тільки аварійні сигнали, а й повторювані несправності, хибні спрацювання, час відновлення працездатності та результати регламентних перевірок.

Практична реалізація підходу передбачає структурування інформації за поверхами, протипожежними відсіками, евакуаційними зонами, сходовими клітками, ліфтовими холами, технічними поверхами та приміщеннями з підвищеним пожежним навантаженням. Для громадських висотних будівель це узгоджується з необхідністю врахування специфіки об’єктів значної умовної висоти [4]. На основі такого структурування можна формувати умовну «карту профілактичної уваги» будівлі.

Аналітична обробка даних має бути спрямована на виявлення не лише окремої події, а й стійкої тенденції. Наприклад, збільшення кількості хибних спрацювань у певній зоні може свідчити про забруднення сповіщувачів, невідповідність умов експлуатації або помилки вентиляційного режиму. Повторювані відмови елементів протидимного захисту можуть бути підставою для перевірки електроживлення, автоматики чи каналів керування. У такому разі профілактика переходить із реактивного режиму в попереджувальний.

Узагальнена послідовність застосування підходу може включати визначення переліку критичних даних, створення єдиної бази подій і несправностей, установлення порогових показників, ранжування зон будівлі за рівнем профілактичної уваги, підготовку коригувальних заходів та повторну перевірку після їх виконання. До таких заходів можуть належати позачерговий огляд, перевірка конкретного вузла або уточнення графіка технічного обслуговування.

Отже, інформаційно-аналітичний підхід до пожежної профілактики у висотних будівлях полягає у перетворенні даних моніторингу на практичний інструмент управління безпекою. Його зміст охоплює аналіз технічного стану систем, визначення проблемних зон, пріоритетів технічного обслуговування та організаційних заходів. Для ефективного застосування підходу необхідні сумісність обладнання, захист інформації, збереження журналів подій і регулярна перевірка коректності роботи диспетчерських систем.

Список використаних джерел

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2025 року: офіційний звіт. Київ: ДСНС України, 2026. URL: https://dsns.gov.ua/upload/2/5/5/1/7/8/2/analiticna-dovidka-pro-pozezi-2025.pdf (дата звернення 15.05.2026).
2. Вовк С. Я., Шаповалов О. В., Кушнір А. П., Ференц Н. О. Аналіз шляхів забезпечення протипожежного захисту висотних будівель. *Пожежна безпека*. 2025. № 46. С. 30-44. https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.03
3. ДСТУ CEN/TS 54-14:2021. Системи пожежної сигналізації та оповіщування. Частина 14. Настанови щодо побудови, проєктування, монтування, пусконалагоджування, введення в експлуатацію, експлуатування та технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2018, IDT). [Чинний від 2021-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 90 с.
4. ДСТУ 9192:2022. Пожежна безпека. Проєктування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м. [Чинний від 2023-05-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 39 с.
5. Трипольська К. С., Мельник І. В. Інтеграція сучасних технологій у системи моніторингу та раннього виявлення пожеж у висотних будівлях. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту:* матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Черкаси: НУЦЗ України, 2026. С. 98.

УДК 621.311:621.355

Андрій Прус, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Узагальнено сучасні характеристики мобільних акумуляторних систем зберігання енергії (МАСЗЕ). Розглянуто варіант, за якого МАСЗЕ на базі вантажівки або причепа заряджається від сонячної електростанції, транспортується до об’єкта та підключається до нього замість дизель-генератора. Обґрунтовано, що така модель дає змогу зменшити залежність від паливної логістики, підвищити гнучкість використання сонячної електроенергії, але потребує ретельного планування ємності батареї, потужності інвертора, режимів заряджання, маршруту транспортування та умов підключення.

Ключові слова: мобільні акумуляторні системи зберігання енергії, електропостачання, мікромережі.

Abstract. The current characteristics of mobile battery energy storage systems (MBESS) are summarized. A variant is considered in which a truck- or trailer-based MAES is charged from a solar power plant, transported to the facility, and connected to it instead of a diesel generator. It is substantiated that such a model enables reducing dependence on fuel logistics and increasing the flexibility of using solar electricity, but it requires careful planning of battery capacity, inverter power, charging modes, transportation routes, and connection conditions.

Keywords: mobile battery energy storage systems, electricity supply, microgrids.

Мобільна акумуляторна система зберігання енергії (МАСЗЕ), що у міжнародній термінології відповідає поняттю *Mobile Battery Energy Storage Systems* (MBESS) – це система накопичення енергії, яка складається з батарейного блоку, силової електроніки, системи керування зарядом і розрядом, засобів захисту, комунікаційного обладнання та транспортної платформи. На відміну від стаціонарної АСЗЕ, яка встановлюється в одному вузлі мережі, МАСЗЕ може переміщуватися між об’єктами, підстанціями, мікромережами, зарядними

станціями або тимчасовими споживачами. Її головна перевага полягає у гнучкості: енергія накопичується там, де вона доступна або дешевша, і використовується там, де виникає потреба в електроживленні [1].

МАСЗЕ використовується, перш за все, для підвищення стійкості розподільчих мереж, тобто як ресурс підтримки електропостачання після аварій, стихійних лих, пошкодження ліній або дефіциту генерації. МАСЗЕ може бути завчасно розміщена або швидко переміщена до точки критичної потреби, що дає змогу швидше відновити живлення пріоритетних споживачів.

По-друге, МАСЗЕ частково розв’язує проблеми мінливості виробітку СЕС і ВЕС, локальних перевантажень мережі, заряджаючись від джерела надлишкової генерації [2].

По-третє, якщо для стаціонарної системи потрібно визначати місце встановлення і режими заряджання/розряджання, то для мобільної мають бути додатково враховані маршрут, час переміщення, доступність місця підключення, тривалість роботи на об’єкті, транспортні витрати та деградація батареї. Тому моделі МАСЗЕ поєднують електроенергетичну й транспортну складові і вимагають вирішення багатокритеріальних оптимізаційних задач.

Порівняння мобільних і стаціонарних систем накопичення показує, що жоден варіант не є найкращим. Стаціонарна АСЗЕ доцільна при постійній, локальній і прогнозованій потребі в накопиченні. Вона простіша в експлуатації, не потребує транспортування, має стабільну схему підключення та легше інтегрується в релейний захист. Але її слабким місцем є просторове обмеження, адже система, встановлена в одному вузлі, не може безпосередньо обслуговувати інший об’єкт.

МАСЗЕ доцільна, коли попит на електроживлення є змінним, тимчасовим або просторово розосередженим, наприклад, як у мережі магазинів однієї спеціалізації, розосереджених по місту. Одна мобільна система може почергово обслуговувати кілька об’єктів, заряджатися в місці надлишкової генерації та розряджатися там, де виник дефіцит. Це особливо важливо для аварійного

електропостачання, тимчасових виробничих і наукових об’єктів, мікромереж, зарядної інфраструктури електромобілів та критичної інфраструктури. Водночас МАСЗЕ потребує транспортної платформи, регламентів переміщення, універсальних точок підключення та врахування логістичних витрат.

У дослідженнях МАСЗЕ дедалі частіше розглядають у взаємодії з динамічною реконфігурацією мережі, керуванням напругою, мікромережами, електромобілями та алгоритмами штучного інтелекту. Це свідчить про перехід від сприйняття мобільної батареї як резервного джерела до її розуміння як інструменту гнучкості розумної мережі *(smart grid*) [3].

Важливим технічним аспектом є вплив мобільної АСЗЕ на захист і режими роботи розподільчих мереж. Дослідження впливу мобільної АСЗЕ на роботу запобіжників і реклоузерів у реальній розподільчій мережі показало, що переміщення накопичувача між точками підключення може змінювати потоки потужності, струми короткого замикання та умови селективності [4]. Тому впровадження МАСЗЕ потребує не лише економічного обґрунтування, а й технічної перевірки схем підключення, захисту та експлуатаційних процедур.

Окремої уваги потребує порівняння МАСЗЕ із дизель-генератором, який традиційно застосовується для аварійного або тимчасового живлення, оскільки має просту конструкцію, доступний на ринку та може працювати тривалий час за умови постачання пального. Проте його робота пов’язана з витратами на пальне, сервіс, доставку і зберігання пального, шумом, викидами шкідливих речовин та залежністю від паливної логістики.

У варіанті, коли мобільна АСЗЕ на базі вантажівки або причепа заряджається від сонячної електростанції, накопичує енергію, переміщується до об’єкта та підключається замість дизель-генератора, вона виконує роль мобільного носія відновлюваної електроенергії, причому без спалювання пального. Така модель важлива для об’єктів, де необхідне швидке розгортання і використання власної сонячної генерації.

Порівняно з дизель-генератором МАСЗЕ має кілька переваг. Під час роботи вона не створює локальних викидів шкідливих речовин, що важливо для освітніх, медичних, наукових, житлових і природоохоронних територій. Вона працює значно тихіше та краще пристосована до змінного або малого навантаження. Натомість дизель-генератор при тривалій роботі на низькому навантаженні може втрачати ефективність і потребувати додаткового обслуговування, зокрема через проблему мокрого коксування [5].

Важливою перевагою МАСЗЕ є зменшення залежності від паливної логістики. Для дизель-генератора потрібно регулярно забезпечувати доставку, зберігання, облік і безпечне використання пального, що у воєнних, кризових або віддалених умовах може бути критичним обмеженням. МАСЗЕ теж потребує логістики, але вона пов’язана переважно з переміщенням уже зарядженої системи та організацією повторного заряджання. За даними U.S. Energy Information Administration, при спалюванні дизельного пального утворюється близько 2,69 кг CO_2 на літр [6], тому заміщення дизельної генерації енергією від СЕС має прямий екологічний ефект.

Разом із тим дизель-генератор зберігає переваги у випадках довготривалого автономного живлення за наявності запасу пального. Якщо об’єкт потребує безперервної роботи протягом багатьох діб, а можливості перезарядити МАСЗЕ немає, генератор може бути більш доцільним. Крім того, його початкова вартість часто нижча за вартість великої мобільної акумуляторної системи. Тому МАСЗЕ не слід розглядати як універсальну заміну дизель-генератору; її практичне значення залежить від тривалості живлення, потужності об’єкта, відстані транспортування, вартості пального, наявності СЕС і графіка заряджання.

Найбільш доцільною МАСЗЕ є для об’єктів із прогнозованою потребою в електроенергії протягом кількох годин або обмеженого періоду: насосних станцій, об’єктів зв’язку, будівельних майданчиків, адміністративних і соціальних об’єктів. Якщо СЕС виробляє надлишкову електроенергію вдень, то МАСЗЕ може

накопичувати її та використовувати ввечері, у періоди пікового навантаження або під час аварійного відключення.

Таким чином, для України впровадження МАСЗЕ є актуальним у контексті підвищення енергетичної стійкості, зокрема, в умовах руйнування енергетичної інфраструктури, а саме систем передачі та розподілення електроенергії й пов'язаних з цим планових/непланових відключень електроенергії а також розвитку розподіленої генерації. Основні переваги цих пристроїв – це мобільність, компактність та потужність, що розрахована на потреби кожного окремого споживача.

Практичне застосування МАСЗЕ потребує ґрунтовної оцінки профілю навантаження, тривалості автономної роботи, потужності інвертора, ємності акумулятора, режиму заряджання від СЕС, часу транспортування, умов підключення та вимог електробезпеки. Для довготривалих або непередбачуваних режимів доцільною може бути комбінована схема, у якій МАСЗЕ забезпечує основне коротко- чи середньотривале живлення, а дизель-генератор залишається резервом.

Список використаних джерел

1. Lu Z., Xu X., Yan Z., Han D., Xia S. Mobile Energy-Storage Technology in Power Grid: A Review of Models and Applications. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 16. Article 6857. https://doi.org/10.3390/su16166857
2. He G., Michalek J., Kar S., Chen Q., Zhang D., Whitacre J. F. Utility-Scale Portable Energy Storage Systems. *Joule*. 2021. Vol. 5, No. 2. P. 379–392. https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.12.005
3. Marksan P., Buayai K., Boonchuay C., Boonchuay C. Multi-Objective Optimization of Mobile Battery Energy Storage and Dynamic Feeder Reconfiguration for Enhanced Voltage Profiles in Active Distribution Systems. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 20. Article 5515. https://doi.org/10.3390/en18205515
4. Momesso A. E. C., Barra P. H. A., Barbalho P. I. N., Asada E. N., Vieira J. C. M., Coury D. V. An Impact Assessment of a Transportable ACSE on the Protection of Conventional Distribution Systems. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 16. Article 4196. https://doi.org/10.3390/en17164196

5. Booth S., Reilly J., Butt R., Wasco M., Monohan R. Microgrids for Energy Resilience: A Guide to Conceptual Design and Lessons from Defense Projects. *National Renewable Energy Laboratory*. 2019. NREL/TP-7A40-72586.
6. *U.S. Energy Information Administration*. Carbon Dioxide Emissions Coefficients by Fuel. URL: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php (дата звернення 15.05.2026)
7. Савченко Н. П., Трет'як А. В. Перспективи впровадження мобільних автономних систем електропостачання в умовах енергетичної кризи. *Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique*, 11.11.2022, Paris. https://doi.org/10.36074/logos-11.11.2022.17
8. Дьяченко О. С. Роль батарейних систем накопичення енергії (BESS) у підвищенні стійкості та енергетичної незалежності енергосистеми України. *Відновлювана енергетика*. 2025. № 4(83). С. 98–111. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.4(83).98-111

СЕКЦІЯ 3.
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З БІОСИСТЕМНОЇ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА АГРОЕКОЛОГІЇ

УДК 514.182.7

Олена Дереза, кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олена Михайленко, старший викладач кафедри
інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Андрій Чаплінський, старший викладач кафедри
інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБІВ

Анотація. У ході дослідження було сформульовано визначення віртуальної інженерії, проаналізовано її ключові компоненти та функціональні сфери застосування, а також розглянуто вектори розвитку відповідних інструментів у межах сучасних САПР. Встановлено, що віртуальна інженерія створює фундамент для ефективної спільної розробки складних систем. Цифровий формат даних дозволяє фахівцям легко обмінюватися інформацією, а використання спільних віртуальних просторів дає змогу географічно віддаленим командам одночасно досліджувати та вдосконалювати цифровий прототип.

Ключові слова: геометричне моделювання, скінченно-елементний аналіз, конвергенція, перепроектування, концепція віртуальної інженерії, цифрова модель, геометричні колізії.

Abstract. This study formulates a definition of virtual engineering, analyzes its key components and functional areas of application, and examines the development trends of relevant tools within the framework of modern CAD systems. It has been established that virtual engineering provides the foundation for the effective collaborative development of complex systems. The digital data format allows specialists to easily exchange information, and the use of shared virtual spaces enables geographically dispersed teams to simultaneously explore and refine a digital prototype.

Keywords: Geometric modeling, finite element analysis, convergence, redesign, concept of virtual engineering, digital model, geometric collisions.

Динамічність та високий ступінь диверсифікації сучасного ринку зумовлюють тенденцію до суттєвого скорочення життєвого циклу промислової продукції, що висуває жорсткі вимоги до темпів її розробки. Традиційні підходи, засновані на багаторазових ітераціях проєктування та створенні високовартісних фізичних прототипів, уже не здатні забезпечити необхідну конкурентоспроможність. У зв’язку з цим перехід до методів розробки на базі комплексного комп’ютерного моделювання став об’єктивною необхідністю для сучасної інженерії.

Розвиток автоматизованих систем проєктування призвів до формування нової парадигми аналізу, де сучасні засоби геометричного моделювання дозволяють оперувати об’єктами надскладної топології. Це дає можливість оцінювати та модифікувати вузли як цілісні системи, симулюючи їхню кінематику з точністю, що раніше була доступна лише під час випробувань реальних зразків. Важливим етапом цієї еволюції є метод скінченних елементів, який виступає ефективним інструментом віртуальної перевірки надійності та функціональності виробу. За умови підвищення обчислювальної потужності до рівня реального часу, цей метод дозволяє з високою достовірністю прогнозувати напружено-деформований стан, вібраційні характеристики, температурні режими та інші критичні параметри складних технічних систем.

Сучасні тенденції в галузі САПР спрямовані на глибоку інтеграцію геометричного моделювання з аналітичними інструментами скінченно-елементного аналізу. Така конвергенція забезпечує безперервність циклу проєктування, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на ранніх етапах розробки, що мінімізує витрати ресурсів на подальше перепроектування. Зазначені процеси формують концепцію віртуальної інженерії, в основі якої лежить розробка продукту виключно на базі цифрових моделей. Досягнення в чисельному моделюванні фізичних властивостей та автоматичне виявлення геометричних колізій у режимі реального часу роблять віртуальну інженерію ключовим компонентом промислового виробництва, що дозволяє радикально скоротити терміни виходу продукту на ринок та оптимізувати витрати на його створення. З досягненням технологічної зрілості цей підхід має стати базовим стандартом у глобальному процесі розробки складних інженерних рішень.

1. Визначення віртуальної інженерії.

Віртуальне проектування – віртуальне проєктування розглядається як прогресивний метод моделювання, призначений для надання інженерному персоналу інструментарію для прийняття обґрунтованих рішень та ефективного управління ними.

Віртуальне середовище – під віртуальним середовищем розуміють спеціалізовану обчислювальну структуру, яка забезпечує прецизійне відтворення геометричних і фізичних характеристик реальних технічних систем.

Методологія віртуальної інженерії передбачає комплексне моделювання різноманітних аспектів інженерної діяльності, що включає механічну обробку компонентів, процеси складання, моніторинг виробничих ліній, а також процедури перевірки, оцінки та безпосереднього проєктування. Таким чином, цей підхід охоплює повний цикл розробки продукції та її подальшого виготовлення. На практиці після побудови цифрової моделі деталі здійснюється імітація її обробки та інтеграції у вузол. Зібраний у такий спосіб віртуальний прототип піддається

всебічній перевірці, за результатами якої в конструкцію вносяться необхідні корективи. Лише після остаточного затвердження прототипу проводиться моделювання всієї виробничої системи та її функціонування, а також прогнозуються економічні показники та графіки постачання. Кінцевим продуктом такого моделювання стає оптимізований прототип і детальні виробничі регламенти, що слугують фундаментом для створення фізичної системи.

Віртуальна інженерія пропонує принципово нову парадигму вирішення складних інженерних завдань. Застосування імітаційного моделювання дозволяє повністю відмовитися від створення високовартісних матеріальних прототипів та проведення натурних експериментів. Це веде до радикального скорочення часових витрат на розробку, надає можливість тестувати значно ширший спектр альтернативних варіантів дизайну та забезпечує вищу якість фінального виробу. Крім того, віртуальна інженерія створює ефективний інтерфейс для взаємодії з клієнтом, дозволяючи заздалегідь демонструвати тривимірну модель майбутнього продукту та оперативно вносити зміни за бажанням замовника. Такий підхід робить можливим побудову прототипів об’єктів, створення яких у реальності є технічно недоступним, надто небезпечним або економічно недоцільним. Зазначені можливості мають виняткову цінність для авіаційної та автомобільної промисловості, де виготовлення фізичних макетів є надзвичайно дорогим, цикли розробки тривалими, а продукція характеризується високою складністю та потребою у детальному врахуванні відгуків користувачів.

2. Компоненти віртуальної інженерії. Попри стрімкий розвиток, термінологічна база та визначення віртуальної інженерії на сьогодні ще не є остаточно встановленими. У сфері промислового виробництва ключовим компонентом цього напряму вважається віртуальне виробництво, яке визначається як інтегроване синтетичне середовище, спрямоване на вдосконалення процесів прийняття рішень на всіх управлінських рівнях. Його прийнято класифікувати на проєктно-орієнтоване, що фокусується на оцінці виробничої доцільності виробу;

виробничо-орієнтоване, призначене для планування технологічних циклів; та управлінське, що симулює роботу безпосередньо виробничих підрозділів. З точки зору життєвого циклу виробу віртуальне виробництво структурується на віртуальне проєктування, цифрове моделювання, віртуальне прототипування та віртуальну фабрику. Цифрове моделювання дозволяє оцінювати продуктивність без фізичних зразків, тоді як віртуальне прототипування полягає у створенні комп'ютерного аналога, що за геометрією та фізичною поведінкою ідентичний реальному виробу. Віртуальна фабрика, у свою чергу, представляє собою повну імітацію виробничої лінії підприємства.

Класифікацію віртуального виробництва в контексті життєвого циклу продукції доцільно здійснювати за такими напрямами, як віртуальне проєктування, цифрове моделювання, віртуальне прототипування та віртуальна фабрика. Віртуальне проєктування базується на використанні засобів віртуальної реальності, тоді як цифрове моделювання забезпечує можливість тестування та верифікації експлуатаційних характеристик виробу без виготовлення фізичних зразків. У межах створення віртуального прототипу формується комп'ютерний аналог, що повністю відтворює геометрію та фізичну поведінку реального об'єкта. Поняття віртуальної фабрики, у свою чергу, охоплює комплексну імітацію функціонування всієї виробничої лінії підприємства.

Реалізація віртуального проєктування відбувається у спеціалізованому середовищі із залученням інструментарію віртуальної реальності, що дозволяє зосередитися на формуванні альтернативного інтерфейсу взаємодії в процесі розробки. Завдяки зануренню у віртуальний простір проєктанти отримують можливість безпосередньо створювати та модифікувати компоненти, керувати технічними пристроями та взаємодіяти з цифровими об'єктами. Візуалізація здійснюється через стереоскопічні зображення, що супроводжуються просторово реалістичним звуковим оточенням. Взаємодія з моделлю ініціюється рухами рук дизайнера, які транслюються на віртуальні маніпулятори, а тактильний зворотний

зв’язок забезпечує відчуття фізичного контакту з об’єктами. Такий підхід сприяє ефективному втіленню інженерного задуму та дозволяє оперативно перевіряти функціональну відповідність конструкції.

Пріоритетною метою віртуального дизайну є забезпечення максимально інтуїтивного та природного способу діяльності інженера. Незважаючи на значні обчислювальні можливості сучасних систем автоматизованого проєктування, рівень взаємодії між розробником і моделлю в традиційних САПР залишається обмеженим. Сприйняття інформації лімітується площиною монітора, а введення даних зводиться до маніпуляцій мишею, що метафорично робить конструктора обмеженим у засобах сприйняття та дії. Натомість технології віртуальної реальності пропонують більш органічну взаємодію, що розширює творчий потенціал та надає більшу свободу при формуванні моделі.

Додатковим завданням віртуального проєктування є інтеграція досвіду кінцевого користувача на ранніх етапах розробки продукту. Це дозволяє ще в процесі проєктування повноцінно проаналізувати такі критичні параметри, як ергономічна доступність та зручність керування. Окрім цього, система віртуального дизайну стає інструментом для залучення неявних знань експертів зі складання або маніпулювання деталями. Хоча такий досвід складно піддається формалізації, занурення в імітаційне середовище дозволяє наочно визначити оптимальну позицію оператора, специфіку його взаємодії з вузлами та раціональну послідовність технологічних операцій монтажу.

Рис. 1. Віртуальне проектування за допомогою апаратури віртуальної реальності

Впровадження віртуального дизайну вимагає фундаментального перегляду підходів до моделювання тривимірної геометрії. Традиційні інтерфейси з меню та кнопками поступаються місцем технологіям розпізнавання мови та жестів, що робить процес взаємодії більш природним. Наприклад, для зміни масштабів чи розмірів об'єкта дизайнеру не потрібно вводити числові параметри – достатньо фізично «підняти» модель у віртуальному просторі та «розтягнути» її до потрібних габаритів. Очевидно, що розвиток віртуального проєктування неминуче призведе до виникнення принципово нових методик інженерного моделювання та схем побудови складних об'єктів.

*Цифрове моделювання.*Одним із ключових завдань цифрового моделювання є ретельна верифікація технологічних процесів. Перед запуску реального обладнання необхідно провести повну перевірку його роботи, оскільки будь-яка помилка в керуючому коді може стати причиною критичних пошкоджень дорогої техніки. Завдяки цифровому моделюванню користувач отримує можливість детально проаналізувати траєкторію руху інструмента ЧПК, щупа координатно-вимірювальної машини або маніпулятора робота ще до початку фізичних операцій.

Графічне керування процесом обробки дозволяє відтворити роботу віртуального верстата з ЧПК у реальному часі. Система зчитує стандартні інструкції та візуалізує всі переміщення: від руху інструментів і пристосувань до роботи укладальників та переміщення деталей. Постійний моніторинг процесу видалення матеріалу дає змогу оперативно виявляти потенційні проблеми, такі як вібрації, ризики поломки інструмента, поява зазубрин або критичних відхилень. Крім того, імітаційне моделювання є надійним засобом прогнозування та усунення зіткнень між робочим інструментом, технологічною оснасткою та самою деталлю.

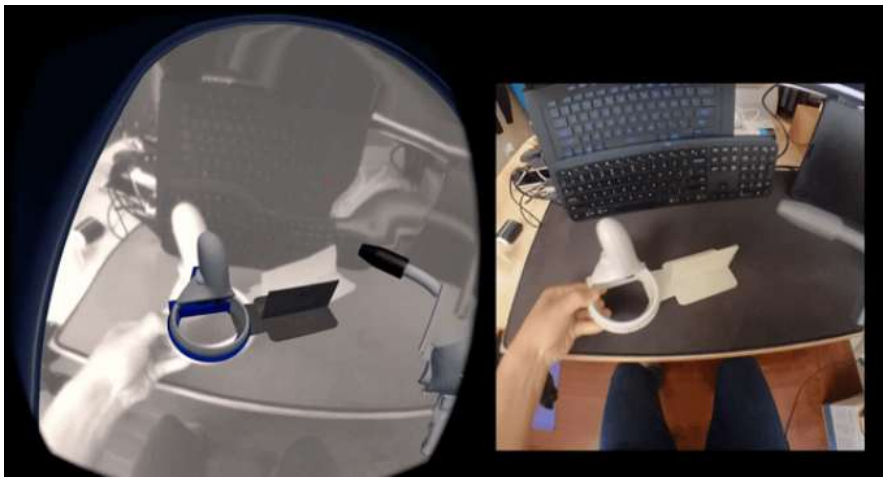


Рис. 2. Цифрова імітація зварювання

Візуалізація виступає потужним інструментом, що допомагає інженерам глибше осягнути структуру та логіку роботи системи. Це дозволяє не лише наочно представити дизайнерську ідею, а й завчасно верифікувати її працездатність. На сучасному етапі для цих цілей переважно застосовується кінематична симуляція твердих тіл. Однак перехід до моделювання систем вищого рівня, таких як потоки рідин, поведінка людей або складні середовища, потребує врахування широкого спектра фізичних ефектів, включаючи динамічні навантаження, вібраційні процеси, акустику та деформаційні зміни. Попри складність таких розрахунків, використання віртуальних прототипів дозволяє значно пришвидшити перевірку продуктивності системи та суттєво мінімізувати супутні витрати.

Віртуальне макетування – це процес формування цифрового прототипу вузла шляхом об’єднання геометричних моделей його окремих компонентів. Такий віртуальний зразок часто визначають як цифровий макет або цифрове попереднє складання. Системи цифрового прототипування надають можливість візуалізувати кожен етап монтажного процесу та перевірити відповідність проєктних одиниць чинним виробничим обмеженням. Завдяки процедурі віртуального складання стає можливим виявлення прихованих конструктивних недоліків та оперативне

внесення коректив. Це гарантує, що подальше реальне виготовлення та фізичне збирання виробу буде успішно завершене з першої спроби.

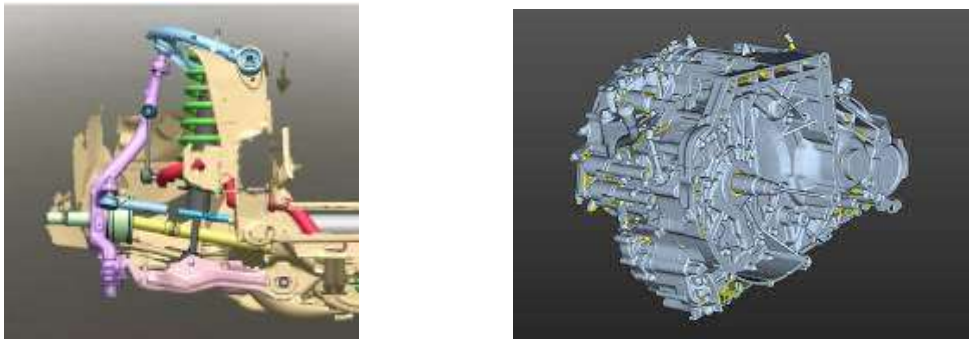


Рис. 3. Віртуальний прототип двигуна і підвіски

Ключовою функцією віртуального прототипування є верифікація можливості здійснення монтажних операцій. Система аналізує коректність сполучення деталей, враховуючи встановлені обмеження складання та вимоги до точності допусків. Завдяки алгоритмам виявлення колізій програма автоматично ідентифікує компоненти, що перетинаються або заважають встановленню інших частин. Також детально перевіряється черговість складання та траєкторії переміщення елементів, що дозволяє визначити найбільш раціональні шляхи монтажу. Сучасні розширені системи забезпечують проведення комплексного структурного та функціонального аналізу цифрового прототипу за допомогою інтегрованих аналітичних модулів, що часто включає кінематичне та динамічне моделювання механізмів.

На основі отриманих даних віртуального прототипування інженери мають можливість приймати обґрунтовані конструкторські рішення. Оптимізація виробу досягається через послідовне вдосконалення цифрової моделі, а з підвищенням деталізації прототипу зростає точність структурного та функціонального аналізу. Кінцевою метою є створення ситуації, за якої віртуальний зразок за всіма характеристиками буде еквівалентним фізичному. Це дозволить повністю

виключити етап створення високовартісних і трудомістких натурних макетів із циклу розробки.

Віртуальний завод представляє собою цілісну виробничу систему, відтворену в цифровому середовищі. Така модель імітує архітектуру виробничих майданчиків, технологічні процеси та логістику складських систем. Крім того, у межах віртуальної фабрики можна програмувати роботу автоматизованого обладнання: робототехнічних комплексів, конвеєрних ліній та верстатів. Система відтворює функціонування накопичувачів, зон навантаження, виробничих дільниць, а також моделює регламентовані процедури — від маршрутів переміщення до послідовності технологічних операцій. Фінальна модель виробництва піддається детальному аналізу для розрахунку витрат на оплату праці, обсягів запасів, експлуатаційних витрат, витрат на логістику та загальної тривалості виробничого циклу.

Рис. 4. Віртуальна імітація автомобільного заводу

Зазначені можливості дозволяють використовувати концепцію віртуального заводу як потужний інструмент для стратегічного планування виробництва. Це включає комплексну оцінку проєктів виробничих систем та проведення порівняльного аналізу альтернативних методів виготовлення продукції. З досягненням технологічної зрілості віртуальна фабрика зможе імітувати функціонування всього ланцюжка постачання. Це дозволить здійснювати наскрізну оцінку та оптимізацію процесів управління ресурсами та виробничими потужностями на глобальному рівні.

3. Застосування віртуальної інженерії. Процес віртуального проєктування базується на послідовному розвитку моделі: він бере початок із формування геометричних параметрів, продовжується імітацією роботи виробничої системи та завершується створенням повноцінного віртуального прототипу або продукту. Попри те, що результатом цього циклу не є фізичні об'єкти, було б помилково вважати такі дії лише теоретичними. Віртуальна інженерія є надзвичайно ефективним прикладним інструментом, який дозволяє верифікувати різноманітні конфігурації дизайну та обрати найбільш раціональний варіант ще до початку фактичних виробничих процесів. Окрім ролі в проєктуванні, віртуальна інженерія знаходить широке застосування в безпосередній операційній діяльності підприємств, забезпечуючи цифрову підтримку на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Інструмент дизайну. Віртуальна інженерія як інноваційний інструмент дизайну пропонує докорінно новий підхід до процесу конструювання. Завдяки специфічному інтерфейсу користувача створюється імерсивне середовище, що забезпечує глибоке занурення в проєкт та високий рівень інтерактивності. Це дозволяє розробникам детальніше осягнути специфіку об'єкта, стимулює креативність та дає змогу інтегрувати людський фактор у концепцію виробу вже на початкових етапах.

Цифрове моделювання та віртуальне прототипування відіграють ключову роль у верифікації та оптимізації проєктних рішень. Експлуатаційні параметри обраної концепції оцінюються за допомогою віртуальних аналогів, а технологічна доцільність конструкції перевіряється шляхом симуляції виробничого циклу в умовах віртуальної фабрики. Наявність віртуального прототипу дозволяє вносити прецизійні корективи в дизайн, застосовуючи метод скінченних елементів та інші аналітичні підходи. Повна імітація функціональності продукту допомагає вчасно виявити конструктивні недоліки та визначити вектори для вдосконалення. Системний аналіз продуктивності та виробничих потужностей сприяє прийняттю

обґрунтованих інженерних рішень, а ітераційна процедура прототипування забезпечує комплексну оптимізацію проєкту.

Важливим аспектом, що реалізується за допомогою віртуальної інженерії, є методологія проєктування «зверху вниз». На відміну від традиційного підходу, де окремо розроблені компоненти згодом об’єднуються у вузол, ця стратегія базується на пріоритетності глобальних функціональних вимог, які стають основою для подальшої деталізації. Концептуальний проєкт виступає відправною точкою, а результатом стає детальна розробка окремих елементів. Перевагою віртуального середовища є можливість складання прототипу навіть за умови неповної опрацьованості деталей. Після проведення загальної оцінки конструкції на базі структури віртуального прототипу розробляються остаточні проєкти компонентів, що робить процес конструювання більш інтуїтивним на ранніх стадіях.

*Оцінка доцільності виробництва.*Віртуальна інженерія також забезпечує ефективну оцінку доцільності виробництва різних варіантів конструкції. Такий аналіз надає вичерпну інформацію щодо тривалості обробки, операційних циклів, очікуваних витрат та якості майбутньої продукції. Крім того, це дозволяє прогнозувати час на підготовку робіт, терміни виконання та необхідні трудовитрати. Для отримання достовірних результатів використовуються комплексні моделі виробничих процесів, на основі яких приймається рішення про придатність конструкції до виготовлення. Можлива також якісна оцінка технологічності, що характеризує легкість виробництва. У разі невідповідності проєкту виробничим вимогам система дозволяє ідентифікувати проблемні атрибути дизайну для їх подальшого дослідження та корегування.

Оцінка та контроль якості. Моделювання процесу тестування та експлуатації, що дозволяє детально проаналізувати продуктивність виробу ще на етапі розробки. Моделювання робочих циклів дає змогу провести серію статистичних випробувань цифрової моделі для визначення її чутливості до змін у конструкції або технології виготовлення. На основі цих даних розраховується

індекс якості, який відображає здатність системи функціонувати в межах заданих допусків, що забезпечує об’єктивну оцінку продукту до початку його фізичного виробництва.

Під час аналізу якості ідентифікуються ключові чинники, що мають на неї безпосередній вплив. Отримана інформація стає підґрунтям для вдосконалення проєкту шляхом корегування факторів, визначених як деструктивні. Паралельно з цим якість продукції може бути підвищена завдяки модернізації параметрів виробничого обладнання в цифровій моделі. Оскільки ітерації у віртуальному просторі потребують значно менших фінансових витрат, інженери мають можливість дослідити повний спектр альтернативних рішень для пошуку оптимального варіанта. Поєднання оцінки виробничої доцільності та оптимізації конструкції дозволяє максимально ефективно налаштувати реальний випуск продукції, мінімізуючи кількість дефектів.

*Оцінка та оптимізація виробничого процесу.*Важливим аспектом є цифрова оцінка та оптимізація безпосередньо виробничих операцій. Моделювання дозволяє верифікувати програми для верстатів з ЧПК, алгоритми роботи робототехнічних комплексів та траєкторії зондів координатно-вимірювальних машин. Візуалізація руху інструмента або маніпулятора робота допомагає виявити та запобігти потенційним зіткненням чи іншим помилкам у керуючому коді. Як альтернатива, система може автоматично генерувати безпечні траєкторії руху, що виключає ризик дороговартісних поломок обладнання під час фактичної експлуатації. Окрім глобального аналізу процесу, детальна оцінка таких елементів, як фіксація та подача деталей, забезпечує раціональне планування кожного етапу обробки.

*Планування виробництва та продукції.*Здійснюється шляхом імітації окремих подій, що дозволяє розрахувати пропускну здатність ліній, ефективність використання обладнання, операційні витрати та логістику матеріальних потоків. Аналізу піддаються також статичні характеристики системи: тривалість виробничого циклу, межі робочих зон машин, їхнє просторове розміщення, а також

доступність вузлів для обслуговування. Імітаційне планування демонструє найвищу ефективність на потокових лініях із повторюваними операціями, тоді як моделювання дільниць із дрібносерійним виробництвом складних виробів потребує застосування більш досконалих аналітичних систем.

Іншим стратегічним напрямом застосування віртуального інжинірингу є планування продукції в умовах динамічного ринку. Високі вимоги до швидкості постачання змушують компанії скорочувати періоди підготовки виробництва. Симуляційні методи дозволяють миттєво оцінити собівартість, тривалість виготовлення та графіки відвантаження без залучення реальних потужностей. Використання такого інструментарію надає підприємствам можливість гнучко та ефективно реагувати на будь-які зміни ринкової кон'юнктури.

Інтерфейс для клієнта. Віртуальна інженерія дозволяє гнучко адаптувати продукт під індивідуальні вимоги замовника та з високою точністю прогнозувати терміни постачання. Створення віртуальної моделі дає змогу не лише продемонструвати зовнішній вигляд виробу, а й симулювати його функціонування в реальних умовах. Важливою перевагою є можливість інтерактивного внесення коректив у прототип безпосередньо під час обговорення із замовником. Ці зміни оперативно передаються до інженерного відділу та на виробництво, що значно прискорює загальний цикл виготовлення. Таким чином, побажання клієнта трансформуються у прямий зворотний зв'язок, а віртуальна інженерія стає інструментом для швидкої та точної фіксації потреб ринку, підвищуючи ефективність виробника за показниками вартості та оперативності.

*База знань.*Формування інтелектуальної бази знань стає можливим завдяки систематизації та аналізу інформації про виробничі процеси, що генерується у віртуальному середовищі. Управління цією інформацією передбачає обробку комплексних даних про циркуляцію моделей та технологічних інструкцій протягом усього життєвого циклу розробки. На відміну від традиційного фізичного середовища, де експертний досвід часто важко формалізувати, віртуальна

інженерія дозволяє накопичувати обширні масиви інженерних знань. Згодом ці бази даних та результати їх візуалізації слугують стратегічним керівництвом для аналітиків та конструкторів, забезпечуючи спадкоємність досвіду та врахування помилок минулих поколінь при розробці нових продуктів.

Паралельна робота в контексті єдиних виробничих вимог сприяє глибшому розумінню особливостей продукту, підвищенню його якості та суттєвому скороченню термінів виходу на ринок. Забезпечення коректності дизайну на початкових етапах мінімізує потребу у високовартісних доопрацюваннях на пізніх стадіях виробничого циклу. Крім того, така співпраця може виходити за межі одного підприємства, залучаючи постачальників та партнерів до єдиного інформаційного простору, що зміцнює інтеграційні зв'язки та оптимізує процеси створення інноваційної продукції.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічнихбаз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
2. Мацулевич О.Є., Вершков О.О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12
3. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення AdobeAudition. *Розвиток сучасної науки та освіти :* (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
4. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації :* матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
5. Alrefo I.F., Rawashdeh M.O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072

6. Alrefo I.F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082
7. Дереза О. О., Антонова Г. В., Тетервак І. Р., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних / *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) / [за наук. ред. С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та інш.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 147-153
8. Вершков О.О., Мацулевич О.Є., Тетервак І.Р., Супрун М.В. Моделювання кулачків зубозаточувальних верстатів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2025. Вип. 25, т. 2. С. 106-110
9. Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Чаплінський А. П., Супрун М. В. Моделювання зубного мосту в пакеті програм DENTCAD. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2025. Вип. 25, т. 2. С. 134-140
10. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2019. Вип. 8, Т. 1. С. 55–68.

УДК 519.816

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Максим Супрун, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГИБРИДНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ДИЗАЙНЕРСЬКИХ ВИРОБІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПАКЕТІВ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ В РАМКАХ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

Анотація. В роботі пропонується методика створення технологічного оснащення для виготовлення промислових дизайнерських виробів з використанням пакетів прикладних програм PowerSHAPE в рамках виконання курсового проекту з дисципліни «Промисловий дизайн».

Ключові слова: Пластикова ПЕТ-тара, термопласт, гібридний модуль, поверхневе моделювання прес-форми, інжекційне видувне формування.

Abstract. This paper proposes a methodology for creating manufacturing equipment for the production of industrial design products using the PowerSHAPE software suite as part of a course project in the «Industrial Design» course.

Keywords: PET plastic containers, thermoplastic, hybrid module, surface modeling of a mold, injection blow molding.

При виконанні курсового проекту з дисципліни «Промисловий дизайн» необхідно враховувати не тільки технічні аспекти, а й брати до уваги питання забезпечення реалізації спроектованих виробів.

Багато товарів, що пропонуються на ринку, повинні бути обов'язково упаковані. Упаковка грає сьогодні величезну роль в розвитку ринку, будучи важливою складовою іміджу брендів, підкреслює індивідуальність продукції, що випускається. Особливо важливе значення упаковка набуває, коли мова йде про

випуск косметичної продукції. З огляду на все вище перераховане, для розробки була обрана упаковка для шампуню.

Пластикова ПЕТ-тара в даний час популярна на ринку упаковки, особливо в якості тари для харчових і технічних рідин. Сьогодні існують різноманітні способи застосування ПЕТ в області тарування, однак, беручи до уваги його унікальні фізичні властивості, визначальним фактором у його використанні є ціна. Саме ПЕТ певною мірою зміг замінити скло, алюміній і пластикові пляшки з інших матеріалів.

При створенні проекту була поставлена задача, розробити виріб, який виконує своє пряме призначення, естетичну функцію, створює потрібний характер і настрій, привертає увагу покупців, а, також,розробити економічно вигідну упаковку. Нами було запропоновано таке рішення поставленої задачі – ПЕТ-тара для шампуня в стилі «Танго» (рис.1).

Рис. 1. ПЕТ – пляшка «Танго» (фотореалістика)

На першому етапі проектування виробу була сконструйована тривимірна модель ПЕТ-пляшки. Для виготовлення виробу «Пляшка для шампуню» був обраний матеріал - поліетилентерефталат (ПЕТ).

Отримання цього матеріалу засноване на реакції терефталевої кислоти і етиленгліколю. ПЕТ спеціально розроблений і виробляється для пакувальної промисловості. Міцний, жорсткий, легкий, економічний, гнучкий термопласт, який легко кристалізується і може орієнтуватися з створенням багато впорядкованих структур. Для виробництва ПЕТ - упаковки був обраний метод - двостадийного інжекційного видувного формування.

Моделювання проводилося в гібридному модулі проектування PowerSHAPE 8. Модель пляшки являє собою відносно складну поверхню, з цієї причини

конструювання вироблялося із застосуванням поверхневого моделювання. Основні етапи моделювання представлені на рис. 2-3.

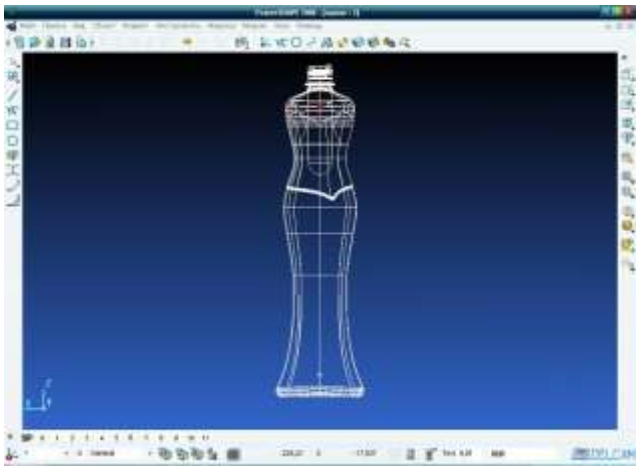


Рис. 2. Контур тривимірної моделі пляшки з преформою та шийкою

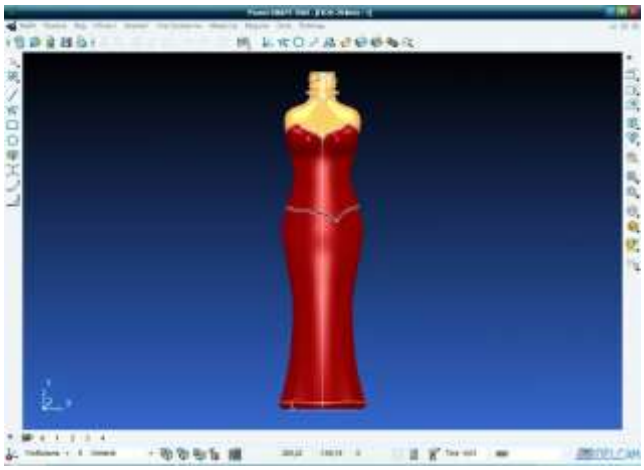


Рис. 3. Готова тривимірна модель пляшки

Наступним етапом проектування є створення моделі прес-форми в програмі PoverSHAPE.

Спочатку було отримано моделі формоутворюючих вставок. Їх було виготовлено із дуралюміню Д16Т. Габарити прес-форми – 325х280х60. Дві напівформи, верхня і нижня, представлені на рис. 4.

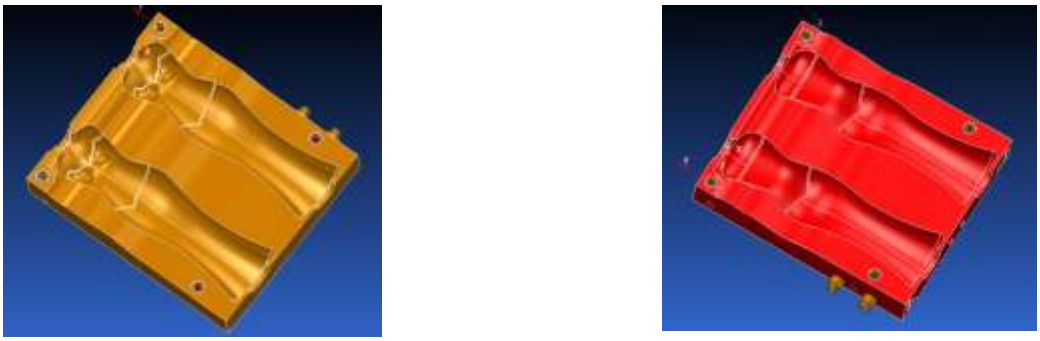


Рис. 4. Напівформи

Слід зазначити, що тривимірна модель ПЕТ-пляшки має складну форму, тому якщо проектувати традиційну для методу двостадийного інжекційного видувного

формування пряму лінію роз’єму, готовий виріб неможливо буде вилучити з прес-форми. Для легкого вилучення готової пляшки з прес-форми, було вирішено змоделювати складну, криву лінію роз’єму. Лінія роз’єму двох напівформ була створена «вручну», вона представлена на рис. 5.

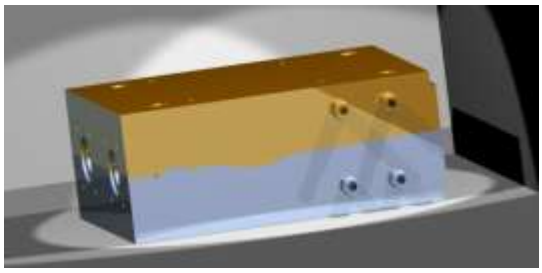


Рис. 5. Лінія роз’єму двох напівформ

Для якісного змикання двох напівформ, враховуючи криву лінію роз’єму, були сконструйовані спеціальні майданчики для кріплень під штифти, які показані на рис. 6.

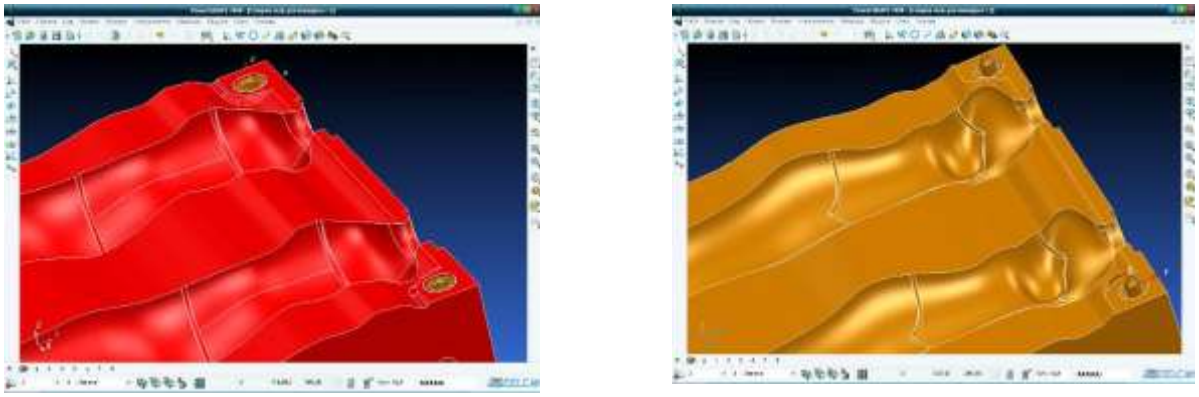


Рис. 6. Майданчики для кріплень напівформ

Наступним етапом проектування прес-форми є створення тривимірної моделі дна, з каналами охолодження і отворами під кріплення дна болтами до нерухомої матриці прес-форми. Матеріал - Д16Т, габарити - 105х280х25 (рис. 7). Вставки різьбовій під преформу, в якій є отвори під кріплення болтами до нерухомої напівформи прес-форми. Матеріал - Ст3, габарити - 80х80х9 (рис. 8). А ,також, двох плит з отворами для кріплення болтами прес-форми до машини видування, матеріал - Ст3, габарити - 320х280х14 (рис. 9).

Рис. 7. Тривимірна модель дна

Рис. 8. Різьбові вставки під прес-форму

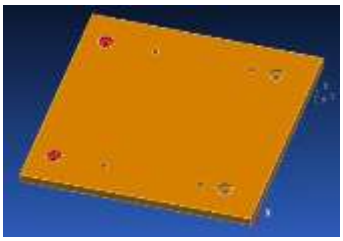


Рис. 9. Плита для кріплення прес-форми до машини видуву

Наступним етапом проектування є розробка каналів охолодження.

Прес-форми зазвичай виготовляються з алюмінієвих сплавів. Це забезпечує непогану термічну провідність для короткого циклу роботи прес-форми. Близьке, симетричне щодо двох полуформ розташування каналів охолодження до поверхні прес-форми важливо для забезпечення її ефективного і рівномірного охолодження (рис. 10-12).

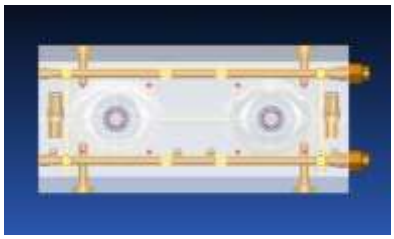


Рис. 10. Канали охолодження А

Рис. 11. Канали охолодження С

Рис. 12. Готова прес-форма

Висновки. У цьому проекті було представлено етапи виконання курсового проекту з дисципліни «Промисловий дизайн» на прикладі розробки технології виготовлення Пет-тари.

В ході виконання роботи використовувалися засоби автоматизованого проектування і розробки керуючих програм: PowerSHAPE, PowerMILL.

Поверхневе моделювання є найбільш сильною стороною програми PowerSHAPE. Побудова поверхонь стала набагато простіша, і в той же час збереглися усі можливості редагування форми.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
2. Мацулевич О. Є., Вершков О. О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12
3. Alrefo, I. F., Rawashdeh, M. O., Matsulevych, O., Vershkov O., Halko, S., Suprun, O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
4. Alrefo, I. F., Matsulevych, O., Vershkov, O., Halko, S., Suprun, O., Miroshnyk, O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082

УДК 004.94:631.8

Наталя Дьоміна, кандидат технічних наук, доцент,
завідувачка кафедри вищої математики і фізики,
Дмитро Одновол, старший викладач
кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВНЕСЕННЯ АЗОТНИХ ДОБРИВ ЗА МОДЕЛЛЮ МІТЧЕРЛІХА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НЬЮТОНА В MATLAB

Анотація. Обґрунтовано математичну модель оптимізації норм внесення азотних добрив під пшеницю озиму з урахуванням економічних та екологічних чинників. Для опису функції відгуку врожайності застосовано модель Мітчерліха, яка найбільш адекватно відтворює ефект насичення та закон спадної граничної продуктивності. Сформульовано нелінійну цільову функцію прибутку, що враховує вартість добрив, ціну реалізації продукції та квадратичний екологічний штраф за надлишкове внесення азоту. Для пошуку глобального максимуму функції використано метод Ньютона в середовищі MATLAB. Проведено оцінювання параметрів моделі, чисельний пошук оптимуму та аналіз чутливості, що дало змогу порівняти приватно-економічний та еколого-економічний оптимуми. Отримані результати забезпечують визначення агроекологічно обґрунтованої оптимальної норми азоту.

Ключові слова: математичне моделювання, метод Ньютона, MATLAB, модель Мітчерліха, нелінійна оптимізація, азотні добрива.

Abstract. The paper substantiates a mathematical model for optimizing nitrogen fertilizer application rates for winter wheat considering economic and environmental factors. The Mitscherlich model is used to describe the crop yield response to nitrogen, accurately reflecting the saturation nature of yield growth and the law of diminishing marginal productivity. A nonlinear profit objective function is constructed taking into account fertilizer costs, crop market price, and a quadratic environmental penalty for excessive nitrogen application. Newton’s method implemented in MATLAB is applied to determine the global maximum of the objective function. Parameter estimation, numerical optimization, sensitivity analysis, and comparison of private-economic and ecological-economic optima are performed. The obtained results allow for the determination of an agroecologically justified optimal nitrogen rate.

Keywords: mathematical modeling, Newton’s method, MATLAB, Mitscherlich model, nonlinear optimization, nitrogen fertilizers.

Сучасне сільське господарство дедалі більше орієнтується на принципи точного землеробства, де прийняття технологічних рішень базується не лише на емпіричному досвіді, а й на математичних моделях, цифровому аналізі та оптимізаційних алгоритмах. Однією з найважливіших задач агроінженерії є визначення оптимальної норми внесення азотних добрив, оскільки саме азот є основним фактором формування врожайності зернових культур. Недостатнє внесення азоту знижує врожайність і прибутковість виробництва, тоді як надлишкове внесення призводить до перевитрат ресурсів і значних екологічних наслідків.

З огляду на це, сучасна агроекономіка переходить від класичного підходу максимізації прибутку до еколого-економічного підходу, у якому враховуються зовнішні екологічні ефекти. Для реалізації такого підходу необхідним є застосування математичних моделей оптимізації, що дозволяють формалізувати виробничі та екологічні процеси. [1–3].

Для опису реакції врожайності на азотне живлення використано класичну модель Мітчерліха у вигляді:

$$Y(N) = a(1-e^{-bN})$$

де $Y(N)$ – врожайність культури, т/га; N – норма внесення азоту, кг д.р./га; a – асимптотичне значення максимально можливої врожайності; b – коефіцієнт інтенсивності відгуку культури на азот.

Модель Мітчерліха вважається однією з найбільш обґрунтованих для опису агрономічних процесів, оскільки вона враховує ефект насичення: початкові дози азоту забезпечують значний приріст урожайності, але подальше збільшення норми внесення дає все менший ефект. Це відповідає закону спадної граничної продуктивності та закону Лібіха–Мітчерліха [4]. На відміну від квадратичних або лінійних моделей, функція Мітчерліха є гладкою, монотонно зростаючою та асимптотично обмеженою, що робить її особливо зручною для подальшої

математичної оптимізації. Дослідження J. Sumelius підтвердили, що саме ця модель краще описує реакцію зернових культур на азот порівняно з квадратичними апроксимаціями [5] .

Дохід від реалізації продукції описується виразом:

$$R(N) = p \cdot Y(N)$$

де p – ринкова ціна зерна.

Приватні виробничі витрати на азотне живлення моделюються як:

$$C(N) = c_N N$$

де c_N – повна приведена вартість 1 кг азоту, що включає вартість добрива, транспортування, логістику та внесення.

Однак така постановка враховує лише інтереси виробника. Для переходу до еколого-економічного оптимуму вводиться функція екологічних зовнішніх витрат. У роботах OECD, Agronomy та Ecological Economics показано, що гранична шкода від надлишкового азоту зростає швидше, ніж лінійно, тому для математичного опису доцільно використовувати опуклу функцію екологічного штрафу [6–8].

У даній роботі приймається квадратична форма:

$$D(N) = dN^2$$

де d – коефіцієнт екологічної інтерналізації.

Економічна інтерпретація параметра d може здійснюватися трьома шляхами: через нормативні екологічні платежі та екоподатки; через оцінювання реальних збитків від забруднення; через калібрування параметра таким чином, щоб оптимум збігався з екологічно допустимими нормами для конкретного регіону.

Таким чином, повна цільова функція прибутку набуває вигляду:

$$\Pi(N) = p \cdot a(1-e^{-bN}) - c_N N - dN^2$$

Ця функція є нелінійною, неполіноміальною та потребує застосування чисельних методів оптимізації.

Для знаходження оптимального значення норми внесення добрив необхідно максимізувати функцію прибутку. Умова стаціонарності має вигляд:

$$\Pi'(N) = pab\, e^{-bN} - c_N - 2dN = 0$$

Аналітичний розв'язок цього рівняння у загальному випадку відсутній через одночасну наявність експоненціальної та лінійної складових. Саме тому задача переходить у площину чисельної оптимізації.

Друга похідна функції прибутку:

$$\Pi''(N) = -pab^2 e^{-bN} - 2d < 0$$

Для знаходження оптимуму необхідно розв'язати рівняння $\Pi'(N) = 0$. Аналітичний розв'язок цього рівняння відсутній через поєднання експоненціальної та лінійної складових, що обумовлює необхідність чисельної оптимізації. Оскільки $\Pi''(N) < 0$ для всіх $N > 0$, функція прибутку є строго увігнутою, що гарантує єдиність глобального максимуму та стійкість оптимального рішення.

Для чисельного знаходження оптимуму використано метод Ньютона з обчислення в СКМ MATLAB:

$$N_{k+1} = N_k - \frac{\Pi'(N_k)}{\Pi''(N_k)}$$

Метод Ньютона характеризується квадратичною швидкістю збіжності та є одним із найефективніших алгоритмів розв'язання задач нелінійної оптимізації за умови правильного вибору початкового наближення.

Параметри моделі Мітчерліха оцінювались у MATLAB за допомогою функції lsqcurvefit, що реалізує метод нелінійних найменших квадратів:

$$\min \sum (Y_i - Y(N_i))^2$$

Для перевірки стійкості моделі було проведено аналіз чутливості. Встановлено, що найбільший вплив на оптимальну норму внесення мають ринкова ціна зерна, вартість азотних добрив, коефіцієнт екологічного штрафу d, а також агрономічні параметри a та b.

При зростанні ціни зерна оптимальна норма збільшується, оскільки додатковий урожай стає економічно вигіднішим. При зростанні вартості добрив

або коефіцієнта екологічного штрафу оптимум зміщується в бік зменшення внесення азоту.

Особливо важливим є порівняння двох оптимумів: приватно-економічного ($d = 0$) та еколого-економічного ($d > 0$). У більшості випадків приватний оптимум перевищує екологічно допустиму межу, тоді як введення штрафного параметра дозволяє зменшити норму внесення до безпечного рівня залежно від регіону, типу ґрунту та культури .

Практична цінність моделі полягає у можливості її інтеграції в системи точного землеробства. MATLAB забезпечує високу ефективність реалізації всіх етапів: від оцінювання параметрів до сценарного моделювання [9]. Такий підхід забезпечує створення практичних інструментів підтримки прийняття рішень для агровиробництва. Запропонована модель може бути використана як основа для інтелектуальних систем управління агротехнологічними процесами.

Таким чином, запропонована математична модель поєднує агрономічну адекватність, економічну інтерпретацію та строгий математичний апарат нелінійної оптимізації. Використання методу Ньютона в MATLAB забезпечує швидке, стійке та надійне знаходження глобального оптимуму навіть для складних агроекономічних систем. Отримані результати підтверджують доцільність переходу від приватно-економічного до еколого-економічного підходу в задачах управління мінеральним живленням культур.

Список використаних джерел

1. Примак І. Д., Лотоненко І. В., Манько Ю. П. Наукові основи землеробства / за ред. І. Д. Примака. Київ : КВІЦ, 2008. 192 с.
2. Божко Л. Ю. Клімат і продуктивність овочевих культур в Україні : монографія. Одеса : Екологія, 2010. 365 с.
3. Агроекономічні та екологічні аспекти встановлення оптимального рівня врожайності нових сортів сільськогосподарських культур / за ред. О. В. Харченка. Суми : ФОП Щербина І. В., 2017. 154 с.
4. Dhanoa M. S., Sanderson R., Cardenas L. M., Shepherd A., Chadwick D. R., Powell C. D. et al. Overview and application of the Mitscherlich equation and its extensions to

estimate the soil nitrogen pool fraction associated with crop yield and nitrous oxide emission. *Advances in Agronomy*. 2022. Vol. 174. P. 269–295.
5. Sumelius J. A response analysis of wheat and barley to nitrogen in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland*. 1993. Vol. 2. P. 465–479.
6. Martínez-Dalmau J., Berbel J., Ordóñez-Fernández R. Nitrogen fertilization: A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 10. Article 5625.
7. Крамарьов С. М., Крамарьов О. С., Демиденко В. Г., Хорошун К. О., Пісоцький С. С., Бондарь В. Ю., Рубан С. М., Цуркан К. П. Економічна ефективність використання карбамідно-аміачних сумішей (КАС) в сучасних системах удобрення сільськогосподарських культур. Дніпро : Нова ідеологія, 2020. 195 с.
8. DeBoe G. Impacts of agricultural policies on productivity and sustainability performance in agriculture: A literature review. Paris : OECD Publishing, 2020. 168 p.
9. Дьоміна Н. А., Одновол Д. Г., Леонтьєва В. В., Кондрат'єва Н. О. MATLAB – інструмент сучасної математичної підготовки інженерів: національний та міжнародний досвід. *Development of modern science: experimental and theoretical research*: scientific multidisciplinary monograph. 2025. С. 367–393.

УДК 631.9:004.94

Альона Дяденчук, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики і фізики,
Євгеній Філіпович, здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕНОСУ ЗАБРУДНЮВАЧА В ҐРУНТОВОМУ ПРОФІЛІ ДЛЯ ЗАДАЧ АГРОЕКОЛОГІЇ

Анотація. У роботі розроблено цифрову модель вертикального переносу забруднювача в ґрунтовому профілі на основі нестаціонарного конвективно-дифузійного рівняння з урахуванням гідродинамічної дисперсії, адвекції, лінійної рівноважної сорбції та першопорядкової біологічної деградації. Для чисельного розв'язання застосовано явну схему скінченних різниць на рівномірній просторово-часовій сітці. Проведено аналіз чутливості моделі до коефіцієнта сорбції K_d, який показав його визначальний вплив на глибину проникнення фронту забруднення. Реалізацію здійснено в середовищі Matlab. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування міграції нітратів, пестицидів і важких металів в агроекосистемах, нормування агрохімічного навантаження та планування екологічного моніторингу.

Ключові слова: ґрунт, забруднення, дифузія, математичне моделювання, Matlab, агроекологія.

Abstract. The paper develops a digital model of vertical transport of a pollutant in a soil profile based on a non-stationary convective-diffusion equation taking into account hydrodynamic dispersion, advection, linear equilibrium sorption and first-order biological degradation. For numerical solution, an explicit finite difference scheme on a uniform spatiotemporal grid is used. The sensitivity of the model to the sorption coefficient K_d is analyzed, which showed its determining influence on the depth of penetration of the pollution front. The implementation was carried out in the Matlab environment. The results obtained can be used to predict the migration of nitrates, pesticides and heavy metals in agroecosystems, standardization of agrochemical load and planning of environmental monitoring.

Keywords: soil, pollution, diffusion, mathematical modeling, Matlab, agroecology.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, масштабне застосування мінеральних добрив, пестицидів та важких металів у складі

агрохімікатів призводять до поступового забруднення ґрунтового профілю [1-2]. Вертикальний розподіл забруднювачів у ґрунтовому профілі є одним із ключових показників екологічного стану агроекосистем. Нітрати, пестициди, важкі метали та інші речовини здатні проникати у глибші горизонти ґрунту, впливаючи на якість підземних вод і біологічну активність.

Традиційний моніторинг (польовий відбір зразків і лабораторний аналіз) є дорогим і не дає змоги прогнозувати динаміку процесу в часі. Для оцінювання таких процесів широко застосовуються математичні моделі, що дозволяють прогнозувати поведінку забруднювачів за різних умов, оцінити ризики забруднення горизонтів ґрунтових вод та обґрунтувати заходи рекультивації [3]. Попри існування комерційних пакетів, таких як HYDRUS-1D, HydroGeoSphere та інші [4, 5], питання прозорого, верифікованого та доступного інструментарію для умов українських ґрунтів залишається відкритим.

Метою даного дослідження є розробка та верифікація цифрової моделі вертикального профілю забруднення ґрунту на основі конвективно-дифузійного рівняння з урахуванням сорбції та деградації, а також її реалізація в середовищі Matlab.

Одновимірний перенос забруднювача у ґрунтовому профілі описується конвективно-дисперсійним рівнянням:

$$R\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v\frac{\partial C}{\partial z} - \lambda C,$$

де $C(z,t)$ – питома концентрація забруднювача у ґрунті, мг/кг сухого ґрунту; z – глибина, м; t – час, доби; D – коефіцієнт гідродинамічної дисперсії, м²/добу; v – швидкість руху порового розчину, м/добу; λ – константа першопорядкової деградації, 1/добу. Коефіцієнт ретардації R визначає затримування забруднювача внаслідок сорбції на твердій фазі ґрунту:

$$R = 1 + \frac{\rho}{\theta} K_d,$$

де ρ – об'ємна щільність ґрунту, кг/м³; θ – об'ємна вологість; K_d – коефіцієнт сорбції, м³/кг.

Для верифікації числового розв'язку використовується аналітичне рішення Огата-Бенкса [6]:

$$C(z,t) = \frac{C_0}{2}\left[erfc\,\frac{(Rz - vt)}{2\sqrt{DRt}} + \exp\left(\frac{vz}{D}\right) erfc\,\left(\frac{Rz + vt}{2\sqrt{DRt}}\right)\right],$$

де C_0 – концентрація забруднювача на поверхні ґрунту.

Для чисельного розв'язання рівняння застосовується явна схема скінченних різниць на рівномірній просторово-часовій сітці з кроками Δz та Δt. Стійкість схеми визначається умовою

$$\alpha = \frac{D\Delta t}{R\Delta z^2} \leq 0.5,$$

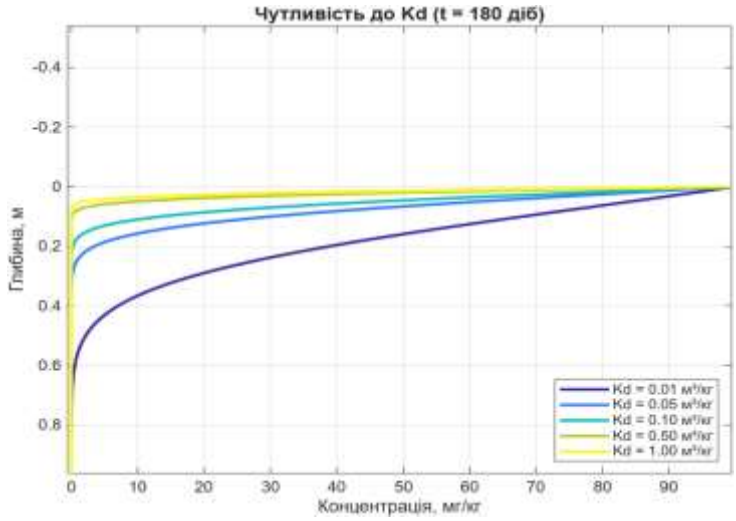
що обмежує вибір часових кроків для забезпечення коректності чисельного розв'язку. Початкова умова задає відсутність забруднення в ґрунтовому профілі $C(z,0) = 0$. На верхній межі $z = 0$ встановлюється постійна концентрація забруднювача $C(0,t) = C_0 = 100$ мг/кг, що моделює тривале поверхневе надходження.

На нижній межі $z = L$ використовується умова нульового градієнта $\partial C / \partial z\,|_{z=L} = 0$, яка є коректною за умови, що фронт забруднення не досягає глибини L протягом часу моделювання, для малих значень K_d≤0,05 м³/кг доцільно збільшувати L до 2,5 м і більше.

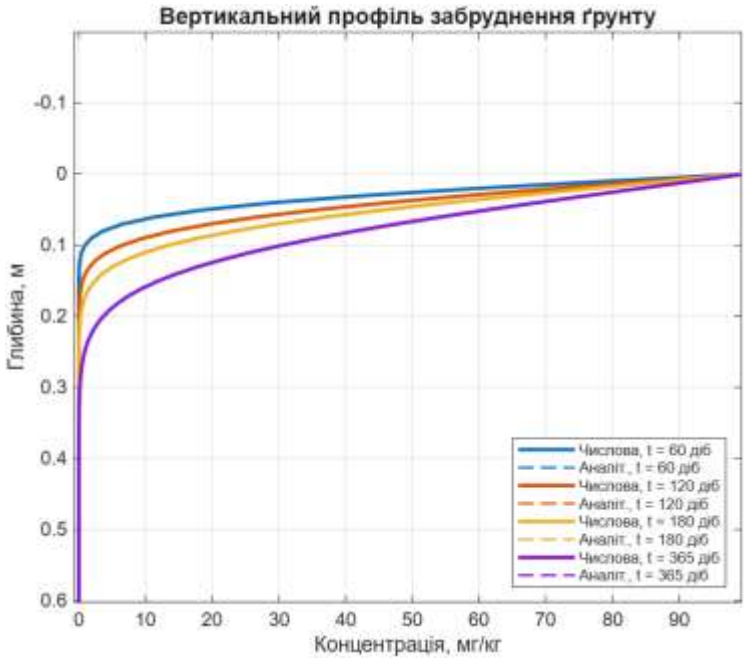
Порівняння числового розв'язку з аналітичним рішенням Огата-Бенкса показало, що максимальне відхилення не перевищує 3-5%, що підтверджує коректність реалізованої схеми. Аналіз чутливості (рис. 1, а) засвідчив визначальний вплив коефіцієнта сорбції K_d на швидкість міграції: при $K_d = 0{,}01$м³/кг фронт забруднення за 180 діб досягає глибини близько 80 см, тоді як при $K_d = 1{,}0$м³/кг – лише 10-12 см. Для важких металів із високим K_d (свинець,

мідь) ризик забруднення ґрунтових вод є мінімальним, тоді як для нітратів і деяких пестицидів із низьким K_d – потенційно критичним.

На рис. 1, б представлено динаміку профілю в часі, згідно якої видно, що за перші 60 діб забруднювач проникає на глибину близько 15-20 см. До кінця року (365 діб) фронт міграції досягає 50-60 см, що відповідає зоні кореневмісного шару більшості польових культур. Деградація знижує максимальні концентрації у нижніх горизонтах приблизно на 20-30% порівняно з консервативним сценарієм.



а)



б)

Рис. 1. Результати числового моделювання вертикального профілю концентрації забруднювача в ґрунті (вісь X – концентрація, мг/кг; вісь Y – глибина, м): а) вплив коефіцієнта сорбції K_d на глибину міграції (t =180 діб); б) динаміка профілю за період 60-365 діб (K_d=0,1 м³/кг)

Отримана модель може бути використана для розрахунку гранично допустимих норм внесення агрохімікатів, прогнозування часу досягнення забруднювачем горизонту ґрунтових вод та планування мережі моніторингових свердловин.

Таким чином, у роботі розроблено цифрову модель вертикального переносу забруднювача на основі нестаціонарного конвективно-дифузійного рівняння. Чисельний розв'язок, отриманий явною схемою скінченних різниць і верифікований аналітичним рішенням Огата-Бенкса ($\lambda = 0$), демонструє розбіжність не більше 3-5%. Чутливісний аналіз підтвердив ключову роль коефіцієнта сорбції K_d: його зростання від 0,01 до 1,0 м³/кг зменшує глибину проникнення фронту за 180 діб з приблизно 80 до 10-12 см, що вказує на високий ризик міграції слабкосорбованих речовин до ґрунтових вод. Модель реалізовано в Matlab як параметризований модуль, придатний для прогнозування міграції агрохімікатів і планування моніторингу.

Список використаних джерел

1. Цицюра Я. Г., Шкатула Ю. М., Забарна Т. А., Пелех Л. В. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивації у сучасних системах землеробства. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
2. Прокопенко Н., Браславська О., Грицик О. Вплив сучасних методів землекористування на деградацію ґрунтів. *Містобудування та територіальне планування*. 2025. № 88. С. 375-389.
3. Наземцева Я. О., Лазненко Д. О. Моделювання міграції пестицидів у ґрунтах від джерел постійного забруднення. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. Вип. 4, № 10 (64). С. 12-15.
4. Саприкін В. Ю., Бугай Д. О., Скальський О. С. Модельні оцінки інфільтраційних потоків вологи крізь ґрунтові екрани хвостосховищ промислових відходів

Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське). *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2019. Т. 12. С. 84-94.
5. Кізілова Н. М., Ричак Н. Л. Інформаційне супроводження системи менеджменту водними ресурсами на урбанізованих територіях. *Системи обробки інформації*. 2020. № 4(163). С. 37-47.
6. Ogata A., Banks R. B. A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. 1961. № 411-A. P. A1-A7.

УДК 004.942:504.06:378.147:37.091.33-027.22

Дмитро Одновол**,** старший викладач
кафедри вищої математики і фізики,
Валерій Кідалов**,** доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

STEM-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ У MATLAB В ПРОЦЕСІ НАВЧЕННЯ ФІЗИКИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕКОЛОГІЇ

Анотація. Запропоновано STEM-орієнтовану MATLAB-систему моделювання поширення токсичних речовин в атмосфері для підготовки фахівців спеціальності Е2 «Екологія». Розроблена модель ґрунтується на підходах Gaussian Plume та Gaussian Puff, що забезпечує можливість аналізу процесів атмосферної дисперсії токсичних викидів, оцінювання концентрації забруднювачів, визначення зон небезпеки та прогнозування часової динаміки поширення токсичної хмари. У середовищі MATLAB реалізовано візуалізацію динаміки хмари, побудову контурних карт перевищення гранично допустимих концентрацій, інтерактивний вибір параметрів аварії та розрахунок дозового навантаження. Акцентовано увагу на інтеграції STEM-компонентів: математичного моделювання, атмосферної фізики, цифрових технологій та екологічного аналізу. Такий підхід спрямований на розвиток дослідницьких компетентностей здобувачів освіти, навичок роботи з цифровими інженерними інструментами та практичної підготовки до оцінювання екологічних ризиків.

Ключові слова: STEM-освіта, MATLAB, екологія, математичне моделювання, токсичні викиди, Gaussian Puff, Gaussian Plume, атмосферна дисперсія, екологічний моніторинг, екологічні ризики.

Abstract. The paper proposes a STEM-oriented MATLAB-based system for modeling the atmospheric dispersion of toxic substances, designed for the professional training of students majoring in E2 «Ecology». The developed model is based on the Gaussian Plume and Gaussian Puff approaches, enabling analysis of atmospheric dispersion processes, estimation of pollutant concentrations, identification of hazard zones, and temporal prediction of toxic cloud dynamics. Within the MATLAB environment, the system implements cloud dynamics visualization, construction of contour maps for maximum permissible concentration exceedances, interactive selection of accident parameters, and dose load calculations. Particular focus is placed on the integration of STEM components: mathematical modeling, atmospheric physics, digital

technologies, and environmental analysis. This approach aims to develop students' research competencies, proficiency with digital engineering tools, and practical training in environmental risk assessment.

Keywords: STEM education, MATLAB, ecology, mathematical modeling, toxic emissions, Gaussian Puff, Gaussian Plume, atmospheric dispersion, environmental monitoring, environmental risks.

Трансформація інженерної освіти в межах STEM-підходу вимагає впровадження інструментів, які поєднують теоретичну підготовку з розв'язанням прикладних задач. Для майбутніх екологів критично важливим є розуміння фізичних процесів розсіювання забруднюючих речовин. Використання MATLAB як платформи для моделювання уможливлює перехід від абстрактних формул до наочного аналізу складних атмосферних явищ [1-3]. MATLAB дозволяє поєднати математичний апарат, програмування, чисельні методи, інженерний аналіз та візуалізацію результатів у межах єдиної дослідницької платформи [4].

Застосування MATLAB для моделювання атмосферного переносу токсичних речовин набуває особливої актуальності під час аварійних викидів на промислових підприємствах, складах хімічних речовин, газових станціях або транспортних об'єктах. Використання таких моделей забезпечує можливість оцінювання масштабів екологічної небезпеки, прогнозування концентрації забруднювачів та формування зон евакуації населення [5-7].

Мета роботи полягає у розробці STEM-орієнтованої MATLAB-системи моделювання поширення токсичних речовин в атмосфері для формування дослідницьких компетентностей студентів спеціальності Е2 «Екологія» під час вивчення курсу фізики.

У межах дослідження реалізовано комплекс моделей атмосферної дисперсії токсичних речовин на основі алгоритмів Gaussian Plume та Gaussian Puff у вигляді GUI-додатка в середовищі MATLAB [5, 6].

Функціонал розробленої системи забезпечує можливість моделювати поширення токсичної хмари, аналізувати вплив метеорологічних параметрів на

процеси дисперсії, визначати зони перевищення гранично допустимих концентрацій, оцінювати час підходу токсичної хмари до контрольних точок, розраховувати дозове навантаження, виконувати інтерактивні STEM-дослідження.

Математична модель. Математичний опис процесів ґрунтується на гаусівському наближенні атмосферної дисперсії [7]:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[\exp\left(\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right],$$

де Q – інтенсивність викиду, u – швидкість вітру, σ_y, σ_z – коефіцієнти атмосферного розсіювання, H – висота джерела викиду. Представлене рівняння описує класичну модель Gaussian Plume, що використовується для аналізу атмосферної дисперсії [5, 6].

Зазначена модель забезпечує можливість оцінювання концентрації токсичної речовини у будь-якій точці простору залежно від метеорологічних параметрів та характеристик аварії. Для моделювання динаміки поширення в часі застосовано підхід Gaussian Puff, за якого аварійний викид представляється як сукупність окремих дискретних порцій речовини («пакетів» або puffs), що переміщуються разом із повітряним потоком.

Реалізація моделі у MATLAB. Програмний комплекс реалізовано у вигляді інтерактивної MATLAB-системи з використанням функціоналу Partial Differential Equation Toolbox. Система охоплює [4]:

- математичне ядро;
- блок розрахунку атмосферної дисперсії;
- систему візуалізації;
- модуль анімації руху токсичної хмари;
- алгоритм визначення зон небезпеки;
- STEM-інтерфейс для навчальних досліджень.

Алгоритми системи підтримують кілька типів сценаріїв: нейтральні гази, важкі гази, миттєвий викид, безперервний викид. Для моделювання важких газів

інтегровано спрощену модель (dense gas model), яка враховує гравітаційне розтікання («стелення») токсичної хмари вздовж поверхні землі.

Архітектура програмного комплексу, що використано під час моделювання представлено на рис. 1.

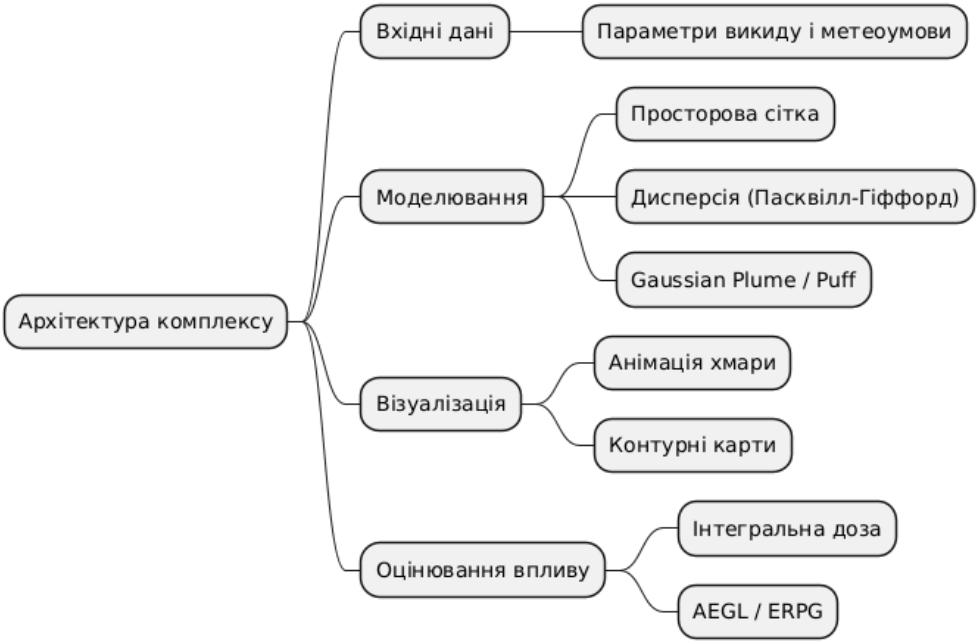


Рис. 1. Архітектура програмного комплексу для моделювання атмосферної дисперсії токсичних речовин

Архітектура програмного комплексу охоплює чотири ключові модулі, що забезпечують повний цикл моделювання атмосферної дисперсії токсичних речовин. У модулі вхідних даних задаються параметри викиду, метеорологічні умови та характеристики джерела. Ці дані формують початкові умови для розрахунків. Під час реалізації модуля моделювання формується просторова сітка, обчислюються коефіцієнти дисперсії за апроксимаціями Пасквілла-Гіффорда та реалізуються алгоритми Gaussian Plume і Gaussian Puff для визначення концентрацій у просторі та часі. Модуль візуалізації передбачає генерацію системою анімації руху токсичної хмари (рис. 2), контурні карти небезпечних зон (рис. 3) та графічні представлення концентрацій (рис. 4). Визначення порогових

концентрацій ґрунтується на офіційних рекомендаціях EPA та AIHA [9, 10], що забезпечує відповідність моделі міжнародним стандартам та посилює її практичну значущість для сфер екологічної та цивільної безпеки.

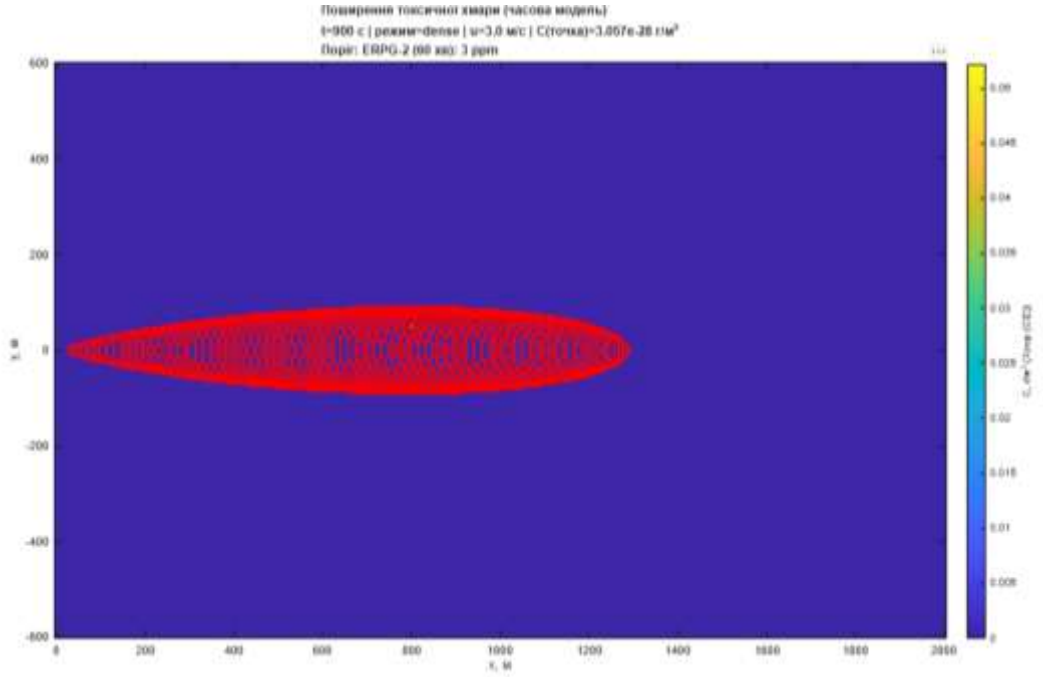


Рис. 2. Анімація руху токсичної хмари

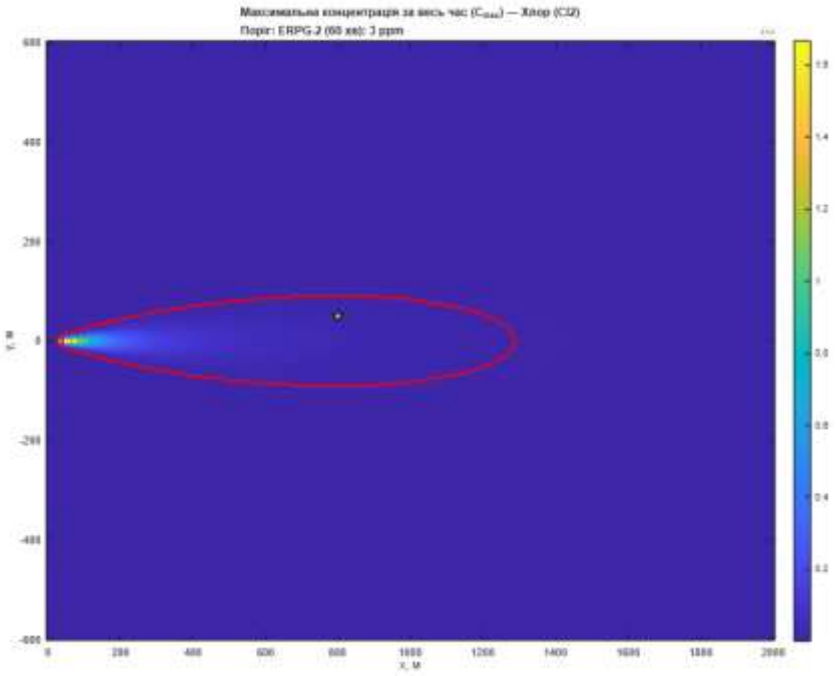


Рис. 3. Контурні карти небезпеки

Аналіз результатів моделювання дав змогу встановити низку характерних закономірностей. Зокрема, збільшення швидкості вітру призводить до зниження локальних концентрацій домішок, тоді як важкі гази формують приземні хмари з підвищеним рівнем небезпеки, що узгоджується з відомими дослідженнями атмосферної дисперсії токсичних речовин [5, 6]. Визначено, що класи стабільності атмосфери істотно впливають на просторові масштаби можливого ураження. Крім того, динамічне моделювання забезпечує можливість точного прогнозування моменту досягнення критичних рівнів концентрації, що є важливим для оперативного оцінювання ризиків.

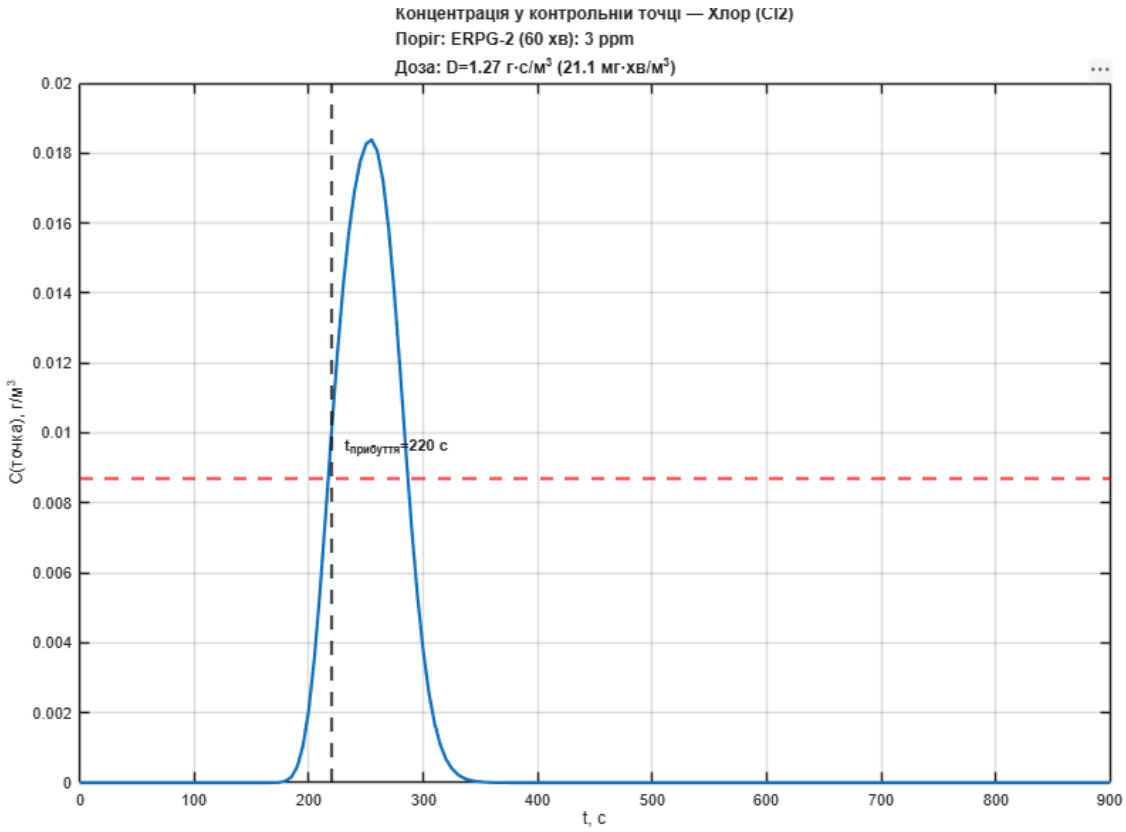


Рис. 4. Контурні карти небезпеки

Результати дослідження. Завдяки роботі з програмним комплексом здобувачі освіти залучаються до проведення цифрових експериментів, аналізу впливу вхідних параметрів на стан довкілля, формування дослідницьких гіпотез та опрацювання реальних екологічних сценаріїв. Така діяльність сприяє розвитку

навичок застосування математичного моделювання у майбутній професійній практиці.

Узгоджене поєднання наукової, технологічної, інженерної та математичної складових формує цілісну STEM-модель навчання, у межах якої здобувачі освіти не лише опановують теоретичні основи, а й набувають практичних компетентностей у сфері екологічної та техногенної безпеки. Інтеграція анімації та інтерактивних модулів у MATLAB забезпечує наочність цифрових експериментів, підтримує аналіз прикладних екологічних ситуацій і сприяє розвитку дослідницьких умінь майбутніх екологів [4, 8].

Створені моделі можуть бути результативно інтегровані в різні освітні формати, зокрема лабораторний практикум, STEM-проєкти, курси екологічного моніторингу, дисципліни з цивільної безпеки та науково-дослідну діяльність здобувачів освіти.

Список використаних джерел

1. Дяденчук А. Ф., Шквиря В. В. Формування інформаційно математичної компетентності здобувачів вищої освіти в загальному курсі фізики. *Інженерні та освітні технології*. 2022. Т. 10, № 1. С. 30–41.
2. Дяденчук А. Ф. Сучасні цифрові інструменти як каталізатор інтересу до фізики в закладах вищої освіти. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти: збірник науково-методичних праць*. 2025. Вип. 28. С. 100-108
3. Одновол Д. Г. Моделювання технологічних процесів харчових виробництв засобами СКМ Matlab як інструмент підвищення якості освіти та виробництва. *Розвиток сучасної науки та освіти : реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали VI Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 28-30 травня 2025 р.) / [ред.колегія: С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та ін.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. С. 167-178.
4. MathWorks. *Partial Differential Equation Toolbox Documentation*. URL: https://www.mathworks.com/help/pde/index.html (дата звернення 02.05.2026).
5. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2016. 1120 p.
6. Hanna S. R., Briggs G. A., Hosker R. P. *Handbook on Atmospheric Diffusion*. Washington, D.C. : U.S. Department of Energy, 1981. 102 p.
7. Micallef A., Micallef C. The Gaussian Plume Model Equation for Atmospheric Dispersion Corrected for Multiple Reflections at Parallel Boundaries: A Mathematical

Rewriting of the Model and Some Numerical Testing. *Sci*. 2024. V. 6. P. 48. https://doi.org/10.3390/sci6030048
8. Crowl D. A., Louvar J. F. *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. 4th ed. Hoboken : Pearson, 2019. 960 p.
9. U.S. Environmental Protection Agency. *Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs)*. URL: https://www.epa.gov/aegl (дата звернення 02.05.2026).
10. American Industrial Hygiene Association. *ERPG™ Emergency Response Planning Guidelines*. URL: https://www.aiha.org/get-involved/aiha-guideline-foundation/erpgs (дата звернення 02.05.2026).

УДК 004.89:631.1:519.6

Дмитро Одновол**,** старший викладач
кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Анотація. У роботі запропоновано підходи до вирішення задачі оптимізації логістичних маршрутів аграрної техніки в системах точного землеробства. Сформульовано математичну модель маршрутизації, що враховує координати точок виконання агротехнічних операцій, геометрію поля, наявність перешкод та техніко-експлуатаційні параметри машин. Виконано програмну реалізацію та порівняльний аналіз трьох метаевристичних алгоритмів: генетичного алгоритму (Genetic Algorithm, GA), методу імітації відпалу (Simulated Annealing, SA) та алгоритму мурашиної колонії (Ant Colony Optimization, ACO) у середовищі MATLAB. На основі серії чисельних експериментів оцінено ефективність обраних підходів за критеріями мінімізації довжини маршруту, швидкості збіжності, стійкості результатів та часових витрат на обчислення. Доведено, що алгоритм ACO забезпечує найвищу якість оптимізації, тоді як метод SA характеризується максимальною швидкістю обробки даних. Отримані результати свідчать про високу ефективність застосування метаевристичних алгоритмів для автоматизації аграрної логістики та цифрової трансформації землеробства.

Ключові слова: MATLAB, оптимізація маршрутів, метаевристичні алгоритми, точне землеробство, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Ant Colony Optimization.

Abstract. The paper substantiates methods for solving the logistics routing problem for agricultural machinery within precision farming systems. A mathematical routing model was formulated, integrating field geometry, obstacle locations, operation points, and technical specifications of the machinery. The study provides a comparative performance analysis of three metaheuristic algorithms — Genetic Algorithm (GA), Simulated Annealing (SA), and Ant Colony Optimization (ACO) — implemented in the MATLAB environment. Based on a series of numerical experiments, the efficiency of these algorithms was evaluated in terms of route length minimization, convergence rate, stability, and computational complexity. The findings establish that ACO delivers superior optimization quality, while SA ensures the fastest execution time. The results

demonstrate the feasibility of integrating metaheuristic algorithms into agricultural logistics and digital farming frameworks.

Keywords: MATLAB, route optimization, metaheuristic algorithms, precision agriculture, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Ant Colony Optimization.

Цифрова трансформація та інтелектуалізація аграрного сектору зумовлюють активне впровадження систем автоматизації та методів штучного інтелекту. Концепція точного землеробства ґрунтується на застосуванні інформаційних систем, супутникової навігації, сенсорних мереж та математичних моделей для максимізації ефективності агровиробництва [1]. Однією з ключових задач інтелектуального сільського господарства є оптимізація маршрутів руху аграрної техніки під час виконання польових операцій.

Раціональне планування маршрутів забезпечує можливість суттєвого скорочення витрат палива, мінімізації непродуктивних переміщень машин, підвищення швидкості виконання технологічних операцій та зниження техногенного навантаження на ґрунт (зокрема, його ущільнення) [2]. Особливо актуальною ця проблема є для великих аграрних підприємств з високою концентрацією техніки та складними логістичними циклами.

Задачі маршрутизації аграрної техніки зазвичай формалізуються як задача комівояжера (Travelling Salesman Problem, TSP) або задача маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP). Зазначені задачі належать до класу NP-важких, тому застосування точних методів при великій розмірності даних є обчислювально затратним [3]. З огляду на це, пріоритетним напрямом є використання метаевристичних алгоритмів, які забезпечують отримання суб’оптимальних розв’язків за прийнятний для практичних потреб час.

Метою дослідження є розробка математичної моделі оптимізації маршрутів аграрної техніки та проведення порівняльного аналізу ефективності метаевристичних алгоритмів у середовищі MATLAB.

У роботі реалізовано та протестовано три типи метаевристичних алгоритмів:

- Genetic Algorithm (GA);
- Simulated Annealing (SA);
- Ant Colony Optimization (ACO).

Генетичний алгоритм імітує механізми природного добору та еволюції. Кожне рішення формалізується у вигляді хромосоми, а пошук оптимального маршруту здійснюється за допомогою операторів схрещування, мутації та селекції. Алгоритм демонструє високу здатність до глобального пошуку у складних багатовимірних просторах [4].

Алгоритм імітації відпалу є стохастичним методом оптимізації, аналогічним до фізичного процесу охолодження матеріалів. Особливістю SA є стратегія тимчасового прийняття гірших рішень для подолання локальних мінімумів. Такий механізм підвищує стійкість алгоритму щодо знаходження глобального оптимуму.

Алгоритм мурашиної колонії реалізує багатоагентний підхід, моделюючи поведінку мурах при пошуку найкоротшого шляху. У процесі роботи агенти формують маршрути на основі феромонних слідів та евристичної інформації. Завдяки колективній взаємодії алгоритм ACO виявляє високу ефективність у вирішенні складних комбінаторних задач маршрутизації.

Математичний опис задачі формалізовано через множину координат точок виконання агротехнічних операцій:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

Метричну відстань між вузлами маршруту розраховано за евклідовим критерієм:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Цільову функцію задачі спрямовано на мінімізацію сумарної довжини маршруту:

$$F = \sum_{i=1}^{n-1} d(v_i, v_{i+1}) + d(v_n, v_1)$$

У середовищі MATLAB розроблено програмний комплекс, архітектура якого охоплює наступні функціональні модулі:

- генерація та обробка координат точок;
- формування матриці відстаней;
- програмна реалізація алгоритмів GA, SA та ACO;
- обчислення критеріїв ефективності;
- побудова графіків збіжності обчислювального процесу;
- графічна візуалізація та аналіз оптимальних маршрутів.

Вибір MATLAB як інструментальної платформи зумовлений високою продуктивністю матричних обчислень, гнучкістю модульного програмування та потужним інструментарієм візуалізації даних [5].

Ось виправлена та стилістично доопрацьована частина вашої статті. Я замінив пасивні конструкції, уніфікував термінологію параметрів алгоритмів та надав опису більш академічного вигляду.

Для забезпечення об’єктивності та коректності порівняльного аналізу всі алгоритми проходили випробування на ідентичних наборах вхідних даних. Умови проведення обчислювального експерименту:

- кількість вузлів маршруту – 50;
- параметри області моделювання – 1000×1000 м;
- кількість незалежних ітераційних запусків – 50;
- чисельність популяції GA – 100 особин;
- ліміт поколінь GA – 200;
- початкова температура SA – 100;
- коефіцієнт охолодження SA – 0,98;
- чисельність агентів (мурах) у ACO – 30.

Оцінювання ефективності досліджуваних алгоритмів здійснювалося за наступним комплексом показників:

- мінімальна довжина сформованого маршруту;

- середні часові витрати на обчислення;

- швидкість збіжності цільової функції;

- середньоквадратичне відхилення результатів (показник стійкості алгоритму).

Результати проведеного серійного експерименту узагальнено на рис. 1 та в табл. 1.

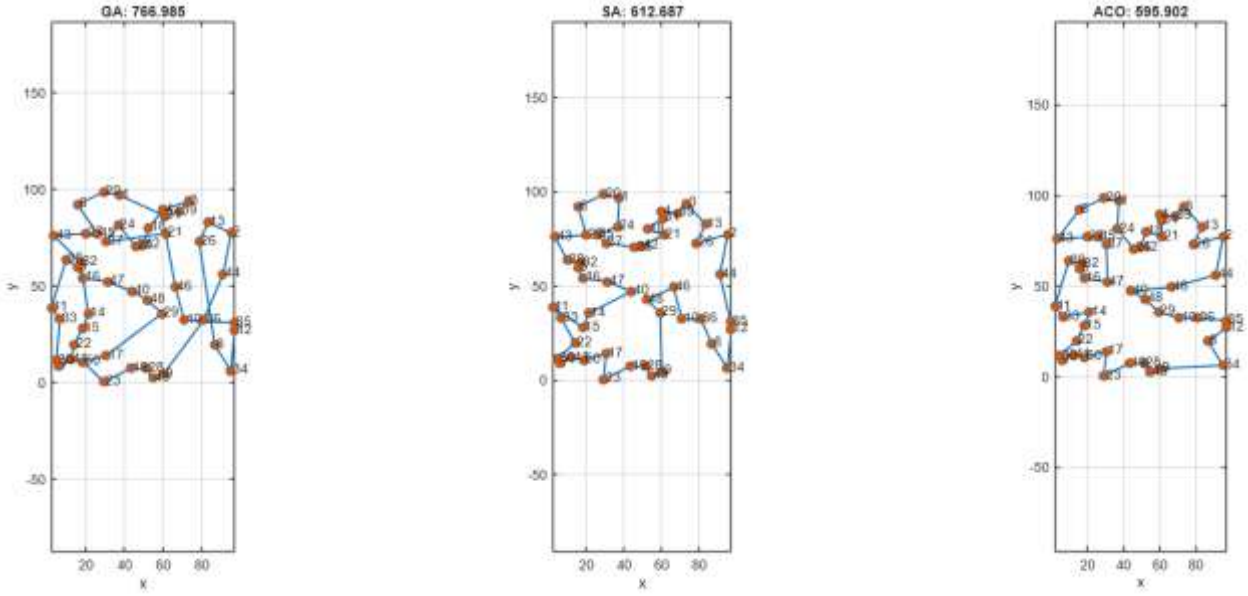


Рис. 1. Результати обчислювального експерименту

Таблиця 1. Порівняльні результати алгоритмів

Алгоритм	**Найкраща довжина**	**Середня довжина**	**Std**	**Середній час, с**
GA	766.98	897.94	58.96	0.161
SA	612.69	648.47	23.10	0.009
ACO	595.90	607.80	4.67	1.277

Аналіз результатів обчислень встановив, що алгоритм ACO забезпечує найвищу якість маршрутизації та найменше стандартне відхилення, що свідчить про високу стійкість отриманих розв’язків. Водночас зазначений алгоритм потребує більшого часового ресурсу через ітераційну складність взаємодії агентів та механізм оновлення феромонів.

Алгоритм SA продемонстрував максимальну швидкість обчислень, що визначає його пріоритетність для систем реального часу та оперативного перепланування маршрутів. Генетичний алгоритм забезпечує ефективний глобальний пошук, проте його продуктивність суттєво залежить від коректності налаштування параметрів популяції та операторів еволюції.

Практична значущість дослідження полягає у можливості інтеграції розроблених алгоритмічних рішень у системи точного землеробства, програмні модулі автоматизованого керування аграрною технікою та цифрові логістичні платформи агропідприємств.

Отже, результати дослідження підтверджують доцільність та ефективність застосування метаевристичних методів для оптимізації аграрних маршрутів. Використання функціоналу MATLAB забезпечує розробку універсальних моделей для дослідження, тестування та впровадження сучасних інтелектуальних технологій у задачі сільськогосподарського виробництва.

Список використаних джерел

1. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. *Science*. 2010. Vol. 327, no. 5967. P. 828–831.
2. Khajepour A., Sheikhmohammady M., Nikbakhsh E. Field path planning using capacitated arc routing problem. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 173. Art. no. 105401.
3. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA : Addison-Wesley, 1989. 412 p.
4. Blum C., Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*. 2003. Vol. 35, no. 3. P. 268–308.
5. Salgotra R., Sharma P., Raju S., Gandomi A. H. A contemporary systematic review on meta-heuristic optimization algorithms with their MATLAB and Python code reference. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2024. Vol. 31, no. 3. P. 1749–1822.

УДК 004.891.2:631.3

Максим Супрун, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Ігор Лінтур, здобувач другого (бакалаврського) рівня
вищої освіти,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЕРГОНОМІЧНИЙ ДИЗАЙН ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ОПЕРАТОРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. У роботі висвітлено значення ергономічного проєктування в аграрному машинобудуванні як чинника підвищення продуктивності та безпеки праці. Показано роль антропометричних, біомеханічних і психофізіологічних параметрів у формуванні комфортного робочого середовища оператора. Окреслено ключові елементи ергономічної кабіни – адаптивні системи сидіння, оптимізовані органи керування, цифрові інтерфейси, засоби зниження шуму та вібрацій. Доведено, що впровадження ергономічних рішень сприяє зменшенню втомлюваності персоналу, підвищенню якості технологічних операцій і загальній ефективності агропідприємства.

Ключові слова: ергономіка; аграрне машинобудування; антропометрія; біомеханіка; робоче середовище оператора.

Abstract. The paper highlights the importance of ergonomic design in agricultural engineering as a factor in increasing productivity and occupational safety. The role of anthropometric, biomechanical and psychophysiological parameters in the formation of a comfortable working environment for the operator is shown. The key elements of an ergonomic cabin are outlined - adaptive seating systems, optimized controls, digital interfaces, noise and vibration reduction devices. It is proven that the implementation of ergonomic solutions contributes to reducing personnel fatigue, improving the quality of technological operations and the overall efficiency of the agricultural enterprise.

Keywords: ergonomics; agricultural engineering; anthropometry; biomechanics; operator's working environment.

Сучасна парадигма розвитку агропромислового комплексу визначає ергономічне проєктування як фундаментальний чинник інтенсифікації робочих процесів та забезпечення безпеки персоналу [1, 2]. Модернізація дизайну сільськогосподарських машин розглядається як стратегічний інструмент

покращення умов праці, що безпосередньо корелює зі стабільним зростанням продуктивності. В основі антропоцентричного підходу лежить пріоритетність фізичних та психологічних особливостей користувача при створенні технічних систем і робочих просторів. У контексті аграрного машинобудування такий підхід дозволяє сформувати комфортне середовище, що мінімізує фізичне виснаження, сприяє тривалій концентрації уваги та суттєво знижує ризики виробничого травматизму.

Науково-методологічна база ергономічної моделі ґрунтується на синергії антропометрії, біомеханіки та психофізіології. Антропометричний аналіз дозволяє максимально точно врахувати метричні параметри та пропорції людського тіла при компонуванні кабіни та інтерфейсів управління. Біомеханічні дослідження спрямовані на оцінку динамічних навантажень на опорно-руховий апарат, що є критично важливим для профілактики професійних захворювань. Водночас психофізіологічний аспект фокусується на процесах сприйняття та пам’яті оператора, створюючи підґрунтя для розробки інтуїтивно зрозумілих систем контролю. Кінцевою метою інтеграції цих дисциплін є досягнення високого рівня експлуатаційного комфорту та повне усунення потенційних загроз для здоров’я.

Практичне впровадження принципів ергономіки в аграрному секторі реалізується через комплексне облаштування кабіни оператора як єдиної функціональної екосистеми. Це передбачає використання адаптивних систем сидіння та рульового управління, впровадження клімат-контролю та засобів активної шумоізоляції [3]. Особлива увага приділяється топографії елементів керування, їх логічній послідовності та точності відгуку на маніпуляції. Сучасні цифрові інтерфейси забезпечують якісну візуалізацію даних із можливістю гнучкого налаштування параметрів під конкретні завдання. Окремим важливим аспектом є організація світлового режиму робочої зони та демпфування вібраційних коливань, що має прямий вплив на загальне самопочуття та працездатність людини.

Ергономічний дизайн слід розглядати як невід'ємну складову підвищення загальної економічної ефективності агропідприємства [4, 5]. Системна реалізація ергономічних стандартів на етапі конструкторської розробки сільськогосподарських машин забезпечує стабільність робочих показників та знижує рівень втомлюваності операторів. Такий підхід не лише сприяє підвищенню якості виконання технологічних операцій, а й виступає надійним засобом збереження професійного довголіття кадрів, забезпечуючи сталий розвиток виробничих процесів у галузі.

Таким чином, ергономічний дизайн у сільськогосподарській техніці забезпечує комфортні умови праці, знижує фізичне навантаження та ризики травматизму, підвищує точність і якість виконання операцій. Комплексне врахування антропометричних, біомеханічних і психофізіологічних параметрів у поєднанні з сучасними технічними рішеннями в кабіні оператора сприяє зменшенню втомлюваності персоналу та стабільному зростанню продуктивності агропідприємств.

Список використаних джерел

1. Helander M. A Guide to Human Factors and Ergonomics. CRC Press, 2006.
2. Bridger R. S. Introduction to Ergonomics. CRC Press, 2018.
3. John Deere. Operator Station Design Guidelines. John Deere Technical Publications, 2019.
4. Даниленко В. Я. Дизайн: підручник. Харків: ХДАДМ, 2003. 265 с.
5. Чемакіна О. В., Рубцов А. Л., Свірко В. О., Олійник О. П. Дизайнерська діяльність: системи візуальної інформації: посібник / за ред. В. О. Свірка. Київ: НАУ, 2017. 191 с.

СЕКЦІЯ 4.
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ОСВІТИ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

УДК 37.091.3:004

Ірина Бужина, доктор педагогічних наук,
професор, Одеський державний університет
внутрішніх справ, м. Одеса, Україна
Олена Гусаченко, магістрантка спеціальності 053 «Психологія»,
Південноукраїнський національний педагогічний університет
імені К. Д. Ушинського, м. Одеса, Україна

ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ПЕДАГОГІВ

Анотація. У статті розглянуто сучасний стан цифрових навичок викладачів, окреслено основні проблеми та бар'єри їхнього розвитку. Також визначено напрями вдосконалення й перспективи формування культури цифрової освіти в Україні.

Ключові слова: цифрова компетентність, педагог, освіта, цифрова трансформація, професійний розвиток, інновації**.**

Abstract. The article examines the current state of teachers' digital skills, outlining the main problems and barriers to their development. It also identifies directions for improvement and prospects for shaping a culture of digital education in Ukraine.

Keywords: digital competence, teacher, education, digital transformation, professional development, innovation.

Сучасні процеси цифрової трансформації стають одним із ключових чинників розвитку освітньої сфери. Вони змінюють роль педагога: від традиційного транслятора знань до наставника, який супроводжує учнів у цифровому освітньому середовищі. У цьому контексті формування цифрової компетентності викладачів набуває особливої значущості.

Метою дослідження є визначення основних викликів, що виникають у процесі цифровізації освіти, а також окреслення ефективних шляхів удосконалення професійної підготовки педагогів. Завдання включають аналіз рівня цифрових

навичок, виявлення бар'єрів розвитку та пошук дієвих механізмів підвищення компетентності. Об'єктом виступає професійна діяльність педагогів, а предметом — їхня цифрова компетентність як складова кваліфікації.

Актуальність проблеми підтверджується сучасними дослідженнями. Зокрема, систематичний аналіз наукових публікацій останніх років показує, що рівень цифрової компетентності педагогів залишається недостатнім і потребує постійного розвитку [2]. У міжнародних звітах наголошується на необхідності адаптації освітніх практик до цифрового середовища та забезпечення безперервного навчання педагогів [1]. В Україні ця проблематика активно досліджується, зокрема через узагальнення досвіду використання ІКТ та аналіз освітніх практик [3].

Однією з головних проблем залишається нерівномірний рівень цифрової підготовки педагогів. Частина викладачів активно використовує цифрові інструменти, тоді як інші мають суттєві труднощі через недостатній досвід або обмежений доступ до ресурсів.

Суттєвим викликом є цифрова нерівність між регіонами, яка проявляється у різному рівні забезпечення інтернетом та технічними засобами. Це створює дисбаланс у можливостях учасників освітнього процесу.

Не менш важливим є мотиваційний чинник. Частина педагогів сприймає цифрові технології як додаткове навантаження, а не як інструмент підвищення ефективності роботи. Відсутність системної підтримки та стимулювання з боку адміністрацій закладів освіти посилює цю проблему.

Окремою проблемою є недостатня кількість якісних методичних матеріалів. Навіть за наявності цифрових інструментів педагоги не завжди мають чіткі рекомендації щодо їх ефективного використання в освітньому процесі, що призводить до формального впровадження технологій.

Важливим викликом є також психологічна готовність педагогів до змін. Освоєння нових технологій потребує адаптивності, когнітивної гнучкості та стресостійкості, що інколи супроводжується емоційним вигоранням.

Ще одним проблемним аспектом є відсутність системної моделі безперервного професійного розвитку. Існуючі програми підвищення кваліфікації часто є фрагментарними та не формують цілісної траєкторії розвитку цифрових компетентностей.

Водночас в Україні впроваджуються різні ініціативи, спрямовані на розвиток цифрових навичок педагогів. Зокрема, реалізується державна програма підвищення кваліфікації, яка передбачає системне навчання цифровим технологіям та їх інтеграцію в освітній процес [6].

Важливим інструментом є також міжнародне дослідження SELFIE for Teachers, яке дозволяє педагогам самостійно оцінити рівень власних цифрових навичок і отримати індивідуальні рекомендації для розвитку [4].

Окрему роль відіграють науково-методичні розробки, які узагальнюють досвід цифровізації освіти та пропонують практичні рекомендації щодо вдосконалення професійної підготовки педагогів [5]. Значним внеском є також аналітичні матеріали та збірники, присвячені розвитку цифрової компетентності вчителів [3; 8].

Для подолання наявних проблем необхідний комплексний підхід. Насамперед слід забезпечити рівний доступ до цифрової інфраструктури та сучасних технологій у всіх регіонах. Важливим є також формування мотиваційного середовища, у якому цифрові інструменти сприймаються як ресурс підвищення ефективності навчання.

Окрему увагу слід приділити розробці якісних методичних матеріалів, що сприятимуть практичному використанню цифрових технологій у педагогічній діяльності. Це дозволить уникнути формального підходу до цифровізації.

Не менш важливою є підтримка психологічної готовності педагогів до змін, розвиток їхньої стресостійкості та здатності до адаптації в умовах швидких технологічних трансформацій.

Ключовим напрямом залишається впровадження системи безперервного професійного розвитку, яка дозволить педагогам регулярно оновлювати свої цифрові компетентності.

Перспективи розвитку цифрової компетентності педагогів пов’язані з формуванням сталої цифрової культури освіти, у якій технології стають невід’ємною частиною навчального процесу. Важливим напрямом є також впровадження штучного інтелекту та аналітики даних для персоналізації навчання та підвищення його ефективності.

Подальший розвиток передбачає активізацію міжнародної співпраці, участь у глобальних освітніх ініціативах та обмін кращими практиками. У довгостроковій перспективі цифрова компетентність має стати базовою складовою професійної підготовки педагога, нарівні з предметними та методичними знаннями.

Список використаних джерел

1. OECD. Digital Education Outlook 2022: Pushing the Frontiers with AI. Paris: OECD Publishing, 2022.
2. Digital Competence of Teacher 2025: Shaping the Future of Education. Київ: Інститут цифровізації освіти НАПН України, 2025.
3. Domínguez-González, L., García-Peñalvo, F. J., & Seoane-Pardo, A. Digital Competence of Teachers: A Systematic Review (2019–2024). *Education and Information Technologies*, 2025.
4. European Training Foundation. SELFIE for Teachers: Ukraine Country Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025.
5. Кремень В. Г. (ред.). Науково-методичне забезпечення цифровізації освіти України: аналітична доповідь. Київ: НАПН України, 2022.
6. Міністерство освіти і науки України. Нова українська школа: цифровий компонент реформи. Київ: МОН України, 2022.
7. Міністерство освіти і науки України. Типова програма підвищення кваліфікації педагогічних працівників з розвитку цифрової компетентності. Київ: МОН України, 2021.

8. Овчарук О. В. (ред.). Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти. Київ: Інститут цифровізації освіти НАПН України, 2025.

УДК 37.013.73:004.8

Микола Пригодій, доктор педагогічних наук, професор,
член-кореспондент НАПН України,
заступник директора з наукової роботи,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ФІЛОСОФІЯ ПОСТПЛАГІАТУ ТА ФОРМУВАННЯ ВІДКРИТОГО ПРОСТОРУ ЗАГАЛЬНОГО ЗНАННЯ В ЦИФРОВІЙ ОСВІТІ

Анотація. Обґрунтовано нову філософсько-освітню доктрину, яка відповідає викликам глобальної цифрової трансформації та стрімкого розвитку технологій штучного інтелекту. Доводиться необхідність переосмислення традиційних підходів до навчання через відмову від застарілої концепції індивідуалізованого знання на користь формування відкритого, мережевого простору загального знання. У роботі критично переглянуто класичне розуміння академічного плагіату в контексті використання генеративних моделей штучного інтелекту та запропоновано нову парадигму сприйняття цифрових ресурсів як когнітивного розширення людського мислення.

Ключові слова: цифрова трансформація освіти, штучний інтелект, постплагіат, колективний інтелект, мережеве знання.

Abstract. A new philosophical and educational doctrine has been put forward, one that addresses the challenges posed by global digital transformation and the rapid development of artificial intelligence technologies. The paper argues for the need to rethink traditional approaches to learning by moving away from the outdated concept of individualised knowledge in favour of creating an open, networked space of shared knowledge. This paper critically re-examines the traditional understanding of academic plagiarism in the context of the use of generative artificial intelligence models and proposes a new paradigm for viewing digital resources as a cognitive extension of human thought.

Keywords: digital transformation of education, artificial intelligence, post-plagiarism, collective intelligence, networked knowledge.

Сучасний етап розвитку вищої освіти та академічної науки характеризується глибокою кризою класичних дидактичних та епістемологічних моделей. Цифрова трансформація, керована технологіями штучного інтелекту (ШІ) та повсюдним поширенням глобальних мереж, давно вийшла за межі простого впровадження

нових технічних інструментів у навчальний процес. Вона вимагає докорінного, революційного переосмислення самої природи знання, методів його засвоєння, трансляції та критеріїв оцінювання результатів інтелектуальної діяльності.

Традиційна освітня парадигма, спирається на концепт індивідуалізованого знання як приватної власності суб'єкта, сувору ієрархію авторитетів та жорсткі кордони індивідуального авторства. Проте в умовах існування великих мовних моделей (LLM) штучного інтелекту та динамічних мережевих платформ ця модель виявляє свою повну неспроможність. Виникає нагальна потреба у формуванні нової філософії та доктрини використання ШІ та інтернету, яка б легітимізувала перехід від ізольованого, індивідуального накопичення інформації до відкритого простору загального, синергетичного знання.

Перші кроки до розуміння того, що знання більше не може належати виключно окремому індивіду, були зроблені в межах теорії коннективізму. Як зазначав відомий дослідник Дж. Сіменс, у цифровому суспільстві навчання – це процес формування мереж, де знання розподілене поміж різноманітними вузлами інформаційної системи, а здатність дізнаватися нове є значно важливішою за те, що людина знає на поточний момент [7]. Продовжуючи цю думку, С. Даунс обґрунтував, що коннективне знання за своєю суттю є децентралізованим та емерджентним, тобто воно виникає як результат взаємодії багатьох елементів мережі, а не як продукт діяльності окремого ізольованого розуму [3].

З появою генеративного ШІ цей процес досяг свого апогею. Спроби змусити здобувача освіти діяти за старими шаблонами – заучувати тексти, демонструвати індивідуалізоване володіння ізольованими фактами – втрачають сенс. Знання стає зовнішнім, екзогенним інструментом. Штучний інтелект виступає когнітивним протезом, партнером у мисленні, що змушує нас відмовитися від догми, згідно з якою людина є єдиним і самодостатнім носієм інтелектуального капіталу. Освіта має трансформуватися з процесу «наповнення голови» індивіда у процес інтеграції цього індивіда у глобальну когнітивну мережу.

Найбільш хворобливим питанням для сучасної освіти є феномен використання ШІ при створенні наукових та навчальних текстів, який традиційні інституції намагаються маркувати як «плагіат» або порушення академічної доброчесності. Проте філософський аналіз цього явища вказує на глибоку концептуальну помилку такого підходу. Генеративний ШІ не копіює чужі тексти в класичному розумінні, він здійснює складну й деавторизовану комбінаторику на основі математичних закономірностей усього масиву людської культури, завантаженого в інтернет.

Щоб зрозуміти цей процес, варто звернутися до класичної тези про «смерть автора». Р. Барт стверджував, що будь-який текст є не лінійним продуктом одного мислителя, а простором багатовимірного письма, де поєднуються і сперечаються різні культури та цитати, жодна з яких не є вихідною. Штучний інтелект став технічним утіленням цієї філософської концепції. Він деавторизує інтернет-простір, перетворюючи його на знеособлений, загальний текстовий субстрат людства [1].

Л. Флоріді у своїй концепції четвертої революції та розвитку інфосфери підкреслює, що межі між людськими та штучними агентами в інформаційному середовищі остаточно розмиваються [4]. Ми живемо в епоху «онлайфу» (onlife), де інформація існує у знеособленому, загальнодоступному форматі. Відтак, звинувачення у плагіаті за використання ШІ є анахронізмом. Необхідно задекларувати перехід до епохи постплагіату, де ключовим критерієм цінності наукового чи навчального результату є не унікальність буквеного набору, згенерованого за допомогою промт-інжинірингу, а якість архітектури ідей, здатність до критичної верифікації, постановки проблем та концептуального синтезу, здійсненого людиною на основі деавторизованих даних (рис. 1).

Нова освітня доктрина повинна базуватися на ідеї створення спільного, відкритого та знеособленого простору як для навчання, так і для наукових досліджень. Інтернет, посилений алгоритмами ШІ, має розглядатися не як

бібліотека чужих творів, а як єдиний, живий і динамічний організм загального знання людства.

Примітка: Згенеровано Gemini за описом автора

Рис. 1. Порівняння парадигм знання та авторства

Ця ідея тісно перегукується з концепцією «колективного інтелекту», яку детально описав П. Леві. Дослідник наголошував, що у кіберпросторі ніхто не знає всього, але кожен знає щось, і все це знання постійно перебуває в русі, взаємодіє та взаємозбагачується в режимі реального часу [5]. Штучний інтелект у цій системі координат виконує роль глобального інтегратора колективного інтелекту, який знеособлює індивідуальні здобутки, очищує їх від суб'єктивних нашарувань та робить загальним надбанням.

Розвиваючи цей підхід, соціолог М. Кастельс довів, що сучасне суспільство функціонує як мережева структура, де влада та капітал (зокрема й інтелектуальний) визначаються не накопиченням ресурсів всередині одного вузла, а динамікою потоків інформації між ними [2]. Отже, закриті освітні системи та спроби комерціалізувати чи ізолювати наукове знання суперечать логіці розвитку

мережевого суспільства. Простір науки і навчання має стати абсолютно відкритим і безбар'єрним. Навчання в такому форматі полягає у вмінні формулювати запити до цього знеособленого океану інформації, критично оцінювати відповіді ШІ та інтегрувати їх у розв'язання реальних, практичних чи фундаментальних проблем суспільства.

Водночас повний відхід від індивідуалізованого знання та широке впровадження ШІ таять у собі серйозні ризики, які потребують зваженого наукового аналізу. Критичний погляд на цифровізацію освіти представляє відомий британський дослідник Н. Селвін. Він застерігає проти сліпого техно-оптимізму та вказує на небезпеку дегуманізації навчання, коли за алгоритмами ШІ втрачається суб'єктність учня і вчителя. Автор наголошує, що ШІ не повинен замінювати собою людину у вимірі етичного вибору, емпатії та соціальної відповідальності [6].

Тому нова доктрина відкритого когнітивного простору не означає нівелювання особистості. Навпаки, звільняючи людину від рутинної роботи з механічного збору, структурування та рерайтингу інформації (що тепер бездоганно робить ШІ), цифрова трансформація повертає освіті її справжню гуманістичну сутність. Людина в цій системі стає не архіваріусом знань, а стратегом, філософом та етичним експертом.

Отже, цифрова трансформація сучасної освіти та науки вимагає рішучого кроку вперед – визнання того, що концепції індивідуалізованого знання та класичного плагіату вичерпали свій історичний ресурс під тиском технологій штучного інтелекту. Нова філософія використання цифрових інструментів базується на доктрині спільного когнітивного простору, де інтернет виступає глобальним знеособленим резервуаром колективного інтелекту людства, а ШІ – універсальним провідником у ньому. Перехід до цієї парадигми дозволить підвищити якість освіти, зробити наукові дослідження більш прозорими, гнучкими та інтегрованими у світовий контекст, перетворивши академічне середовище на справжній простір інновацій.

Список використаних джерел

1. Barthes R. The Death of the Author. *Aspen*. 1967. No. 5–6. URL: https://www.researchgate.net/publication/269401392 (дата звернення 19.05.2026)..
2. Castells M. The Rise of the Network Society. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2010. 656 p. URL: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781444310146_A23624249/preview-9781444310146_A23624249.pdf (дата звернення 19.05.2026).
3. Downes S. Connectivism and Connective Knowledge: Essays on meaning and learning networks. *National Research Council Canada*, 2012. 616 p. URL: https://www.downes.ca/files/books/Connective_Knowledge-19May2012.pdf (дата звернення 19.05.2026)..
4. Floridi L. The Fourth Revolution: How the Infosphere is Reshaping Human Reality. Oxford University Press, 2014. 272 p. URL: https://kmhj.ukma.edu.ua/article/view/73965/69407 (дата звернення 19.05.2026).
5. Lévy P. Collective Intelligence: Mankind's Emerging World in Cyberspace. Plenum review / *Harper Collins*, 1997. 294 p. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Collective-Intelligence-L%C3%A9vy/441c5b56af1923636b9b7ced7bfeed08959db0e4?p2df (дата звернення 19.05.2026).
6. Selwyn N. Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Education. *Polity Press*, 2019. 160 p. URL: https://research.monash.edu/en/publications/should-robots-replace-teachers-ai-and-the-future-of-education/ (дата звернення 19.05.2026)..
7. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*. 2005. Vol. 2, No. 1. P. 3–10. URL: https://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm (дата звернення 19.05.2026).

УДК 378.147:004.9:577.1

Світлана Цехмістренко, доктор сільськогосподарських наук,
професор, завідувач кафедри хімії,
Білоцерківський національний аграрний університет,
м. Біла Церква, Україна
Олена Данченко, доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИКЛАДАННЯ БІОХІМІЇ В АГРАРНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТА ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

Анотація. У тезах розглянуто цифрову трансформацію викладання біохімії в аграрному університеті як відповідь на сучасні освітні виклики: дистанційний і змішаний формати навчання, нестабільність доступу до лабораторій, потребу в асинхронних матеріалах та поширення генеративного штучного інтелекту. Обґрунтовано необхідність переходу від екстреного дистанційного навчання до методично спроєктованої моделі, що поєднує відеолекції, цифрові лабораторні протоколи, проблемні кейси, електронне оцінювання і принципи академічної доброчесності. Показано, що цифрові інструменти мають доповнювати, а не замінювати формування експериментальних умінь у біохімічній підготовці студентів аграрних спеціальностей.

Ключові слова: біохімія, цифрова трансформація освіти, дистанційне навчання, змішане навчання, віртуальна лабораторія, штучний інтелект.

Abstract. The paper discusses the digital transformation of biochemistry teaching at an agricultural university as a response to current educational challenges, including distance and blended learning, unstable access to laboratories, the need for asynchronous materials, and the spread of generative artificial intelligence. The transition from emergency remote teaching to a methodologically designed model combining video lectures, digital laboratory protocols, problem-based cases, electronic assessment, and academic integrity principles is substantiated. It is emphasized that digital tools should complement rather than replace the formation of experimental skills in biochemical training for students of agricultural specialties.

Keywords: biochemistry, digital transformation of education, distance learning, blended learning, virtual laboratory, artificial intelligence.

Цифрова трансформація вищої освіти сьогодні є не лише технологічним оновленням, а й умовою освітньої стійкості. Для аграрного університету це має особливе значення, оскільки підготовка майбутніх фахівців біологічного, ветеринарного, технологічного та екологічного профілю передбачає поєднання теоретичних знань із лабораторною культурою, умінням працювати з біологічним матеріалом, приладами та експериментальними даними.

Біохімія належить до дисциплін, які неможливо якісно викладати шляхом простого перенесення аудиторної лекції у відеоформат. Її зміст ґрунтується на розумінні молекулярних механізмів: ферментативного каталізу, енергетичного обміну, ролі вітамінів і коферментів, регуляції метаболічних шляхів, біохімічних адаптацій організму. Тому цифрове середовище має забезпечити не тільки доступ до матеріалів, а й логічну організацію знань, візуалізацію складних процесів, контроль самостійної роботи та збереження практичної спрямованості навчання.

Досвід кризових років показав, що екстрене дистанційне навчання відрізняється від якісного онлайн-навчання. Перше є вимушеною реакцією на обмеження, тоді як друге потребує дидактичного проєктування, чіткої структури курсу, критеріїв оцінювання та стабільного зворотного зв’язку [3]. В умовах воєнного часу, нестабільного доступу до аудиторій, перебоїв енергопостачання і різного рівня цифрових можливостей студентів така модель є практично необхідною.

Метою роботи є обґрунтування практико-орієнтованої моделі цифрової трансформації викладання біохімії в аграрному університеті в умовах дистанційного та змішаного навчання.

Першим ключовим напрямком цифрової трансформації є створення структурованого електронного курсу в LMS-середовищі. Такий курс має містити календар, тематичні модулі, лекційні матеріали, інструкції до практичних робіт, відеофрагменти дослідів, контрольні питання, тестові завдання та критерії

оцінювання. Студент повинен бачити дисципліну як цілісну систему, а не як набір окремих файлів.

Другим напрямом є раціональне використання синхронної взаємодії через Zoom або Google Meet. Відеозаняття доцільно використовувати не для пасивного переказу конспекту, а для пояснення складних вузлових питань: кінетики ферментативних реакцій, механізмів регуляції метаболізму, взаємозв'язку катаболізму й анаболізму, біохімічних показників функціонального стану тварин. Ефективними є короткі проблемні запитання, аналіз схем, міні-дискусії та розбір типових помилок.

Третім напрямом є цифрова візуалізація. Для біохімії вона має принципове значення, оскільки більшість процесів відбувається на молекулярному рівні. Схеми метаболічних шляхів, моделі фермент-субстратної взаємодії, анімації транспорту електронів, цифрові карти вітамін-коферментних зв'язків допомагають перейти від механічного запам'ятовування до системного розуміння. Європейська рамка цифрової компетентності педагогів підкреслює важливість добору, створення і критичного використання цифрових освітніх ресурсів [5].

Четвертим напрямом є модернізація лабораторної підготовки. Віртуальні лабораторії, відеопротоколи та демонстраційні експерименти не можуть повністю замінити реальну "мокру" лабораторію, однак вони істотно підвищують якість підготовки до неї. До очного практичного заняття студент може переглянути відеопротокол, пройти короткий тест з техніки безпеки, ознайомитися з типовими помилками та підготувати електронний лабораторний журнал. Після виконання досліду результати доцільно обговорювати у цифровому середовищі: будувати графіки, аналізувати похибки, формулювати висновки.

П'ятим напрямом є зміна підходів до оцінювання. У дистанційному форматі традиційні тести не завжди достатньо відображають реальний рівень знань. Доцільно збільшувати частку завдань, які потребують пояснення механізму, інтерпретації експериментальної ситуації, пошуку помилки у протоколі, аналізу

біохімічних показників або короткого усного захисту. Такі форми контролю краще виявляють глибину розуміння і зменшують ризик формального списування.

Окремим чинником сучасної цифрової освіти є генеративний штучний інтелект. Для викладача біохімії AI може бути інструментом підготовки варіантів тестів, ситуаційних задач, глосаріїв, порівняльних таблиць, візуальних схем і пояснень різного рівня складності. Для студента він може виконувати функцію тренажера самоперевірки та допомагати структурувати матеріал. Водночас AI здатний продукувати хибні твердження, вигадані посилання, неправильні DOI і поверхневі відповіді без реального розуміння [1; 7].

Тому використання AI у біохімічній освіті має бути прозорим і контрольованим [8]. Студента потрібно навчати не тільки ставити запитання до цифрового інструмента, а й перевіряти відповідь за підручниками, методичними матеріалами та науковими джерелами. UNESCO наголошує на необхідності людського контролю, етичного регулювання і розвитку AI-грамотності в освіті [4]. Для біохімії це означає, що найціннішим результатом є не готовий текст, а здатність пояснити механізм, обґрунтувати висновок і критично оцінити джерело.

Оптимальною практичною навчальною моделлю для аграрного університету є змішана форма: теоретична підготовка онлайн, ключові лабораторні навички офлайн, аналіз результатів і самостійна робота у цифровому середовищі. Наприклад, у темі “Ферменти” студент може дистанційно опрацювати теоретичний блок і відеопротокол визначення активності амілази або каталази, очно виконати дослід, а потім онлайн подати таблицю результатів, графік, розрахунок швидкості реакції та висновок. У темі “Вітаміни” доцільні кейси щодо біохімічних наслідків дефіциту жиророзчинних і водорозчинних вітамінів у тварин; у темі “Ліпідний обмін” – інтерпретація показників енергетичного балансу; у темі “Білковий обмін” – аналіз маркерів білкового статусу.

Перевагою такого підходу є професійна орієнтація навчання. Студент бачить зв’язок між молекулярними процесами і продуктивністю тварин, якістю кормів,

безпечністю харчових продуктів, стресостійкістю організму та екологічними чинниками. Цифрові технології при цьому не знижують вимоги до знань, а створюють умови для більш гнучкої, персоналізованої і доказової організації навчання. Систематичні огляди освітніх технологій підтверджують, що ефективність цифрових інструментів залежить не від самого факту їх використання, а від педагогічного дизайну і активної ролі викладача [2; 6].

Отже, цифрова трансформація викладання біохімії в аграрному університеті є необхідною відповіддю на сучасні виклики дистанційного і змішаного навчання. Її ефективність визначається не кількістю платформ, а якістю методичної організації курсу, професійною спрямованістю завдань, наявністю зворотного зв'язку, прозорим оцінюванням і збереженням лабораторної сутності дисципліни.

Найбільш доцільною є модель, у якій електронний курс, відеозаняття, цифрова візуалізація, відеопротоколи, ситуаційні задачі, електронне оцінювання та AI-інструменти поєднуються з очним виконанням базових лабораторних робіт. Такий підхід дозволяє підвищити стійкість освітнього процесу, зберегти якість практичної підготовки і сформувати у студентів не лише біохімічні знання, а й цифрову, дослідницьку та інформаційну компетентність.

Список використаних джерел

1. Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko S.I., Tymoshok N.O., Melnichenko A.M., Yekimov S., Šálková D., Spi-vak M.Ya., Kishko K.M. Convergence of Artificial Intelligence in Biotechnology: Innovations and Prospects. *Microbiological journal*. 2025. Vol. 6. P. 86–106.
2. Bond M., Buntins K., Bedenlier S., Zawacki-Richter O., Kerres M. Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: a systematic evidence map. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2020. Vol. 17. Article 2.
3. Hodges C., Moore S., Lockee B., Bond A. The difference between emergency remote teaching and online learning. *EDUCAUSE Review*. 2020. Vol. 27(1). P. 1–9.
4. Holmes, W., Miao, F. Guidance for generative AI in education and research. – Unesco Publishing, 2023. 44 p.
5. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 93 p.

6. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2019. Vol. 16. Article 39.
7. Цехмістренко С., Бітюцький В., Ластовська І. Розділ XV. Інтеграція штучного інтелекту в хіміко-біотехнологічні дослідження. *Штучний інтелект у науці*: монографія / [авт. колектив]; за ред. Яцишина Андрія та Яцишин Анни. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2025. С. 198-211.
8. Цехмістренко С. І., Поліщук В. М., Поліщук С. А., Роль Н. В., Гаюк Н. В. Етика та політика використання ШІ студентами. *Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи*: наук. зб. праць X Всеукраїнської наукової конференції, Житомир, 2026, 325–327.

УДК 37:37.091.12:004

Вадим Кушнір, доктор філософії,
науковий співробітник відділу
цифрових освітніх ресурсів,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ЗАПОБІГАННЯ ЗЛОВЖИВАННЮ ТА НЕКОРЕКТНОМУ ВИКОРИСТАННЮ ТЕХНОЛОГІЙ ШІ

Анотація. У матеріалах доповіді розглянуто проблему запобігання зловживанню та некоректному використанню технологій штучного інтелекту в сучасному освітньому середовищі. Проаналізовано ризики, пов’язані з використанням генеративних систем штучного інтелекту, зокрема порушення принципів академічної доброчесності, поширення недостовірного контенту, створення маніпулятивних цифрових матеріалів та використання штучного інтелекту без належного людського контролю. Акцентовано увагу на сучасних підходах Європейського Союзу щодо забезпечення прозорості застосування технологій штучного інтелекту, а також на необхідності формування цифрової відповідальності учасників освітнього процесу. Встановлено, що ефективне використання штучного інтелекту потребує поєднання технологічних, правових та педагогічних механізмів регулювання.

Ключові слова: штучний інтелект, генеративний штучний інтелект, цифрова безпека, академічна доброчесність, цифрова відповідальність, освітнє середовище.

Abstract. The paper examines the problem of preventing abuse and improper use of artificial intelligence technologies in the modern educational environment. Risks associated with the use of generative artificial intelligence systems are analyzed, including violations of academic integrity principles, dissemination of misleading content, creation of manipulative digital materials, and the use of artificial intelligence without adequate human oversight. Particular attention is given to contemporary European Union approaches aimed at ensuring transparency in the use of artificial intelligence technologies and to the importance of developing digital responsibility among participants in the educational process. It has been established that the effective use of artificial intelligence requires the integration of technological, legal, and pedagogical regulatory mechanisms.

Keywords: artificial intelligence, generative artificial intelligence, digital security, academic integrity, digital responsibility, educational environment.

Стрімке поширення технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі сприяє трансформації традиційних підходів до навчання, створення навчального контенту, автоматизації оцінювання та підтримки індивідуальних освітніх траєкторій. Разом із позитивними можливостями виникають ризики їх некоректного використання та зловживання, що актуалізує проблему формування механізмів запобігання негативним наслідкам застосування таких технологій.

У сучасних наукових дослідженнях поняття «технологія штучного інтелекту» розглядається як система інтелектуальних агентів, здатних сприймати інформацію із навколишнього середовища, аналізувати її та здійснювати відповідні дії для досягнення поставлених цілей. Таке трактування запропоновано С. Расселом та П. Норвігом, праця яких вважається одним із найбільш авторитетних досліджень у галузі штучного інтелекту [1]. У сучасних умовах технології штучного інтелекту охоплюють алгоритми машинного навчання, нейронні мережі, генеративні моделі, системи обробки природної мови та інші цифрові інструменти, що використовуються в освітній діяльності.

Водночас використання штучного інтелекту в освітньому процесі супроводжується виникненням низки ризиків. Одним із найбільш поширених проявів некоректного використання є порушення принципів академічної доброчесності. Генеративні системи штучного інтелекту здатні автоматично створювати тексти, програмний код, презентації та інші навчальні матеріали, що може спричиняти заміну самостійної пізнавальної діяльності здобувачів освіти автоматизованою генерацією результатів. За таких умов виникає небезпека формального засвоєння знань та зниження якості освітньої діяльності [2].

Для систематизації основних проявів свідомого використання технологій штучного інтелекту з порушенням принципів доброчесності та безпечного цифрового середовища доцільно виокремити найбільш поширені види зловживань (табл. 1).

Наведені у табл. 1 ризики характеризуються свідомим використанням можливостей штучного інтелекту з метою отримання неправомірних переваг або створення негативного впливу на освітнє середовище.

Таблиця 1. Прояви зловживання технологіями штучного інтелекту в освітньому середовищі

Вид зловживання	**Характеристика**	**Потенційні наслідки**
Академічне шахрайство	Автоматизоване створення навчальних робіт без самостійного опрацювання матеріалу	Зниження якості знань, порушення принципів академічної доброчесності
Генерування неправдивого контенту	Створення фальсифікованих текстів, зображень або відповідей	Поширення дезінформації
Створення deepfake-матеріалів	Формування штучних аудіо- та відеоматеріалів	Маніпуляція свідомістю користувачів
Несанкціоноване використання персональних даних	Завантаження конфіденційної інформації у системи ШІ	Порушення конфіденційності та ризики витоку даних
Використання ШІ для маніпуляції рішеннями	Формування упереджених рекомендацій або інформаційного впливу	Спотворення результатів освітньої діяльності

Окрему групу ризиків становить створення недостовірного або маніпулятивного цифрового контенту. Генеративні моделі можуть продукувати неправдиву інформацію, помилкові твердження або штучно створені зображення й відеоматеріали, які зовні мають ознаки достовірності. Особливу небезпеку становлять технології deepfake, що створюють штучно згенеровані матеріали із високим рівнем реалістичності та можуть використовуватися для маніпуляції суспільною думкою чи введення користувачів в оману [3].

Поряд із навмисними порушеннями суттєвий вплив на якість освітнього процесу мають випадки некоректного використання технологій штучного

інтелекту, які переважно пов’язані з недостатнім рівнем цифрової грамотності та відсутністю критичного оцінювання результатів роботи таких систем (табл. 2).

На відміну від зловживань, наведені у таблиці 2 випадки переважно пов’язані не з умисними діями користувачів, а з недостатнім рівнем цифрової грамотності, критичного мислення та відсутністю належного контролю за використанням технологій штучного інтелекту.

Таблиця 2. Прояви некоректного використання технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі

Вид некоректного використання	**Характеристика**	**Потенційні наслідки**
Некритичне використання результатів ШІ	Використання сформованої відповіді без перевірки її достовірності	Поява помилок у навчальних матеріалах
Надмірна залежність від ШІ	Заміна власного аналізу автоматично сформованими рішеннями	Зниження рівня критичного мислення
Відсутність перевірки джерел	Використання інформації без встановлення її походження	Використання недостовірних даних
Неправильне формулювання запитів	Створення нечітких або помилкових інструкцій для систем ШІ	Отримання некоректних результатів
Використання ШІ без людського контролю	Повне делегування процесу прийняття рішень цифровій системі	Помилкові управлінські та освітні рішення

Для наочного представлення найбільш поширених проявів зловживання та некоректного використання технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі було здійснено їх узагальнення та систематизацію (рис. 1).

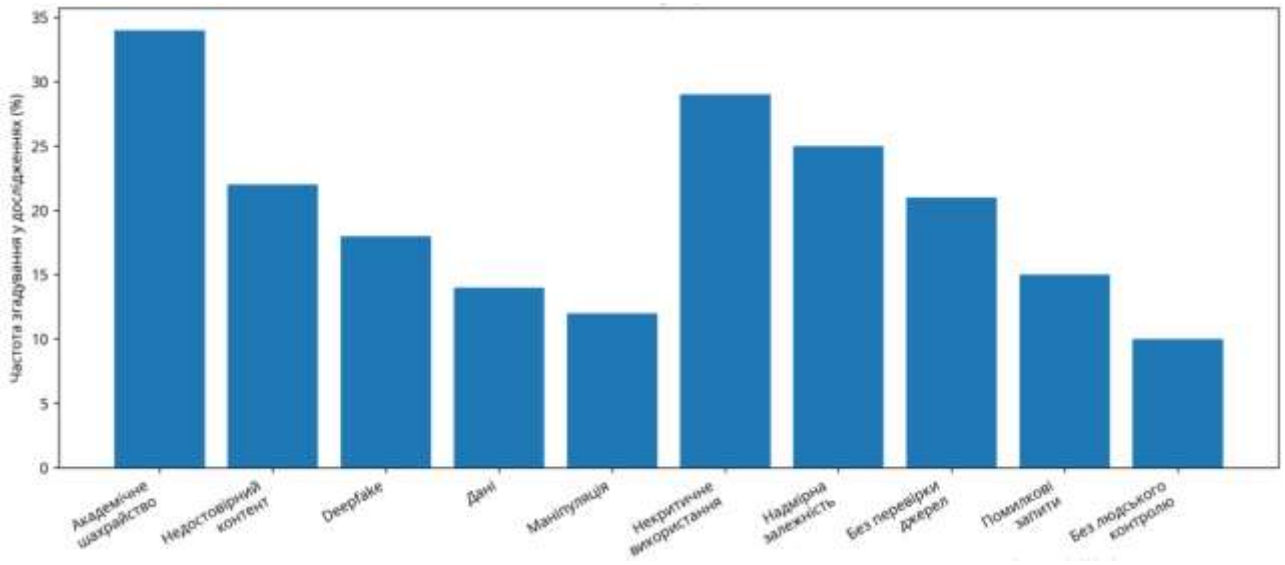


Рис. 1. Порівняльна характеристика проявів зловживання та некоректного використання технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі

Примітка. Розроблено автором.

Як свідчать дані, наведені на рис. 1, серед проявів зловживання технологіями штучного інтелекту найбільш поширеним є використання генеративних систем для порушення принципів академічної доброчесності. Водночас серед випадків некоректного використання домінують некритичне використання результатів роботи систем штучного інтелекту та надмірна залежність від автоматизованих рішень. Це підтверджує необхідність формування цифрової культури, розвитку критичного мислення та посилення механізмів відповідального використання технологій штучного інтелекту.

Запобігання таким ризикам потребує комплексного підходу. Одним із пріоритетних напрямів виступає формування цифрової грамотності та культури відповідального використання технологій штучного інтелекту. Важливого значення набуває розвиток здатності оцінювати достовірність цифрової інформації, визначати ознаки автоматично створеного контенту та здійснювати критичний аналіз результатів роботи систем штучного інтелекту.

Важливим механізмом регулювання також виступають сучасні нормативні підходи Європейського Союзу. Оновлені рекомендації щодо застосування

положень Європейського акту про штучний інтелект (AI Act) передбачають забезпечення прозорості функціонування систем штучного інтелекту, обов'язкове позначення штучно створеного контенту, здійснення людського контролю над автоматизованими рішеннями та оцінювання потенційних ризиків використання таких технологій [4]. Реалізація зазначених підходів у сфері освіти сприятиме формуванню безпечного цифрового освітнього середовища.

Таким чином, запобігання зловживанню та некоректному використанню технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі доцільно розглядати як сукупність правових, технологічних та педагогічних заходів, спрямованих на забезпечення академічної доброчесності, інформаційної безпеки та відповідального використання цифрових інструментів.

Список використаних джерел

1. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd ed. Upper Saddle River : Pearson Education, 2010. 1132 p. URL: Artificial Intelligence: A Modern Approach PDF (дата звернення 19.05.2026).
2. Swanson J. *Perspectives on Artificial Intelligence in Education: A Conversation Between an Education Futurist and an Education Strategist* [Електронний ресурс]. KnowledgeWorks. 2024. URL: KnowledgeWorks: Perspectives on Artificial Intelligence in Education (дата звернення 19.05.2026).
3. Westerlund M. The Emergence of Deepfake Technology: A Review. *Technology Innovation Management Review*. 2019. Vol. 9 (11). P. 39–52.
4. European Commission. *Draft Guidelines on the Implementation of the Transparency Obligations for Certain AI Systems under Article 50 of the AI Act* [Електронний ресурс]. Brussels : European Commission, 2026. URL: Draft Guidelines on the Implementation of the Transparency Obligations for Certain AI Systems under Article 50 of the AI Act (дата звернення 19.05.2026).

УДК 378:330:004

Віталій Клочко, кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри управління, бізнес-адміністрування
та інформаційних технологій,
Харківський університет, м. Харків, Україна

СТРАТЕГІЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ НОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УКЛАДУ

Анотація. У роботі досліджено трансформацію економічної освіти в умовах зміни технологічних укладів та цифровізації. Проаналізовано сучасні освітні тренди та вимоги ринку праці до компетенцій випускників. Обґрунтовано необхідність переходу від традиційної моделі освіти до персоналізованої, практикоорієнтованої та цифрової освітньої екосистеми. Запропоновано стратегічні напрями розвитку економічного університету для досягнення конкурентного лідерства.

Ключові слова: економічна освіта, цифровізація, технологічний уклад, компетенції, персоналізація.

Abstract. The paper examines the transformation of economic education under conditions of technological paradigm shifts and digitalization. Modern educational trends and labor market requirements for graduates' competencies are analyzed. The necessity of transition from traditional education models to personalized, practice-oriented, and digital educational ecosystems is substantiated. Strategic directions for the development of economic universities aimed at achieving competitive leadership are proposed.

Keywords: economic education, digitalization, technological paradigm, competencies, personalization.

Сучасна система економічної освіти перебуває у стані глибокої трансформації, що зумовлено зміною технологічних укладів, цифровізацією економіки та зростаючою невизначеністю ринку праці. Традиційні моделі навчання поступово втрачають ефективність, оскільки не забезпечують формування компетенцій, необхідних для роботи в умовах складних систем та швидких змін.

Історично освіта розвивалася відповідно до економічних моделей суспільства. Індустріальна модель передбачала стандартизований «конвеєр» підготовки кадрів, тоді як постіндустріальна трансформувала освіту у форму

«освітнього ринку». Сучасний етап характеризується переходом до моделі «освітньої експедиції», де ключовими є досвід, адаптивність та здатність створювати нові рішення.

У цьому контексті змінюється і роль університету: від передачі знань до формування компетенцій, які не можуть бути автоматизовані. Роботодавці все більше орієнтуються на практичні навички та здатність швидко вирішувати неструктуровані задачі.

Одним із ключових трендів є впровадження моделі «перевернутого класу», яка передбачає перенесення засвоєння теоретичного матеріалу поза аудиторію та використання навчального часу для практичної діяльності та взаємодії [2]. Дослідження підтверджують, що така модель підвищує залученість студентів та сприяє активному навчанню.

Іншим важливим напрямом є розвиток makerspaces – освітніх середовищ для практичного навчання, які базуються на принципах конструктивізму та сприяють розвитку креативності, критичного мислення та командної роботи [3]. Вони формують так звані «навички XXI століття» та підвищують мотивацію студентів до навчання.

Крім того, активно розвивається концепція «клінічного навчання», яка передбачає вирішення студентами реальних практичних задач у процесі навчання. Такий підхід дозволяє інтегрувати освіту з бізнесом та підвищити рівень готовності випускників до професійної діяльності.

Важливим аспектом є трансформація університетів. Сучасні заклади вищої освіти переходять від моделі «Університет 1.0» до «Університету 4.0», який функціонує як інноваційна екосистема, здатна вирішувати складні міждисциплінарні проблеми. У такій системі ключову роль відіграє інтеграція освіти, науки та підприємництва.

Суттєвим трендом також є перехід до студент-центрованого навчання та змішаних форматів освіти, що поєднують онлайн та офлайн компоненти. Сучасні

дослідження підкреслюють, що традиційні лекційні моделі поступово замінюються інтерактивними формами навчання, які орієнтовані на активну участь студентів та вирішення практичних задач [1].

З огляду на зазначені тенденції, ключовими компетенціями майбутніх фахівців стають: критичне мислення; креативність; здатність до командної роботи; цифрова грамотність; здатність до безперервного навчання.

У таких умовах стратегія розвитку економічного університету має базуватися на системній трансформації. По-перше, необхідно забезпечити прискорення освітнього процесу через впровадження інтенсивних і модульних програм. По-друге, важливо реалізувати цифровізацію освіти, використовуючи сучасні платформи та аналітичні інструменти. По-третє, слід забезпечити персоналізацію навчання, формуючи індивідуальні освітні траєкторії студентів.

Особливу увагу необхідно приділити практичній підготовці. Освіта повинна інтегруватися з бізнесом через реальні проєкти, стажування та формати навчання, що дозволяють студентам вирішувати практичні задачі під час навчання.

Крім того, важливим є формування підприємницького мислення. Випускник сучасного університету повинен бути здатним створювати власні проєкти та адаптуватися до змін середовища.

Таким чином, досягнення лідерства серед економічних університетів можливе лише за умови переходу до нової освітньої моделі, яка поєднує цифровізацію, персоналізацію та практичну орієнтацію. Університет майбутнього функціонує як відкрита екосистема, що формує компетенції, які забезпечують конкурентоспроможність в умовах глобальних змін.

Список використаних джерел

1. Bogart S. Higher education classroom trends and transformation [Електронний ресурс]. *AVTechnology*. 2025. URL: https://www.avnetwork.com/news/higher-ed-classroom-2025-6-atlona (дата звернення 04.05.2026).
2. Del Arco I., Mercadé-Melé P., Ramos-Pla A., Flores-Alarcia Ò. Bibliometric analysis of the flipped classroom pedagogical model: Trends and strategic lines of study.

Frontiers in Education. 2022. Vol. 7. Article 1022295. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1022295

3. Elmoazen R., López-Pernas S., Saqr M. Mapping makerspaces in education: a meta-systematic review. *International Journal of Technology and Design Education*. 2026. https://doi.org/10.1007/s10798-026-10093-8

УДК 004.8:37.091.12:378

Регіна Андрюкайтене, доктор PhD соціальних наук (менеджмент), доцент,
лектор Литовського університету спорту (Маріямполь, Каунас, Литва)
Роман Олексенко, доктор філософських наук, професор,
професор кафедри філософії та соціальних наук,
Центральноукраїнський державний університет
імені Володимира Винниченка, м. Кропивницький, Україна
Каріна Олексенко, доктор філософії з педагогіки,
Комунальний заклад вищої освіти «Кременчуцька гуманітарно-технологічна
академія» Полтавської обласної ради, м. Кременчук, Україна

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС: ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ НАВЧАННЯ ТА АКАДЕМІЧНУ ДОБРОЧЕСНІСТЬ

Анотація. У статті розглядаються теоретичні та практичні аспекти інтеграції штучного інтелекту в освітній процес. Проаналізовано вплив інструментів ШІ на якість навчання, мотивацію студентів та дотримання принципів академічної доброчесності. Визначено педагогічні, організаційні та етичні умови ефективного використання ШІ у закладах освіти.

Ключові слова: цифрова освіта, штучний інтелект, академічна доброчесність, освітні технології, цифрова трансформація.

Abstract. The article examines the theoretical and practical aspects of integrating artificial intelligence into the educational process. The impact of AI tools on the quality of learning, student motivation, and adherence to the principles of academic integrity is analyzed. The pedagogical, organizational, and ethical conditions for the effective use of AI in educational institutions are determined.

Keywords: digital education, artificial intelligence, academic integrity, educational technology, digital transformation.

Стрімкий розвиток штучного інтелекту (ШІ) трансформує сучасну освіту, відкриваючи можливості для персоналізації навчання, автоматизації рутинних процесів та підвищення ефективності педагогічної діяльності [1-3]. Водночас широке впровадження генеративних моделей створює нові виклики, пов’язані з академічною доброчесністю, цифровою грамотністю та якістю освітніх результатів [4].

Актуальність теми зумовлена необхідністю визначити, яким чином ШІ може підсилити навчальний процес, не порушуючи принципів чесності та об’єктивності.

Метою статті є дослідження теоретичних підходів та сучасних практик інтеграції штучного інтелекту в освіту з акцентом на їх впливі на якість навчання та ризики порушення академічної доброчесності.

Методологічна основа полягає в аналізі наукових джерел, порівняльному методі, узагальненні результатів емпіричних досліджень 2020-2025 рр.

Наукова новизна полягає у систематизації сучасних підходів до оцінювання впливу ШІ на якість навчання та доброчесність, а також у пропозиції концептуальної моделі взаємозв’язку між педагогічними ефектами та ризиками використання ШІ.

З метою розкриття проблематики було проаналізовано наукові праці, що відображають розвиток інтелектуальних навчальних систем, генеративних моделей та етичних аспектів їх застосування. Огляд літератури дозволив визначити теоретичні засади, на яких ґрунтується сучасне розуміння впливу ШІ на якість навчання та академічну доброчесність.

Перші узагальнюючі праці зосереджувалися на потенціалі інтелектуальних навчальних систем, адаптивного навчання та аналітики освітніх даних. У монографії [5] окреслено ключові напрями застосування ШІ: персоналізація навчання, підтримка вчителя, автоматизоване оцінювання, а також ризики посилення нерівності доступу до якісної освіти. Подібну позицію займає доповідь R. Luckin та інші [6], де наголошено, що ШІ має розглядатися як інструмент підсилення педагогіки, а не її заміни. Дані роботи формують концептуальне підґрунтя: ШІ розглядається як компонент «розумних» освітніх екосистем, що впливає на якість навчання через індивідуалізацію, зворотний зв’язок у реальному часі та аналіз великих масивів даних про навчальну діяльність.

Сучасні ж систематичні огляди фіксують різке зростання кількості емпіричних досліджень після 2022 року, що пов’язано з появою генеративних

моделей. У систематичному огляді [7] проаналізовано понад 150 емпіричних робіт за останнє десятиліття (2015-2025 рр.), показано, що домінують дослідження вищої освіти та STEM-галузей, а основні зафіксовані ефекти включають підвищення результатів навчання, мотивації та залученості студентів, а також покращення якості зворотного зв'язку.

Водночас автори підкреслюють низку системних викликів: етичне використання ШІ студентами, недостатню готовність викладачів до роботи з інтелектуальними системами, ризик цифрової залежності та поверхневого засвоєння матеріалу.

Дослідження 2023-2026 років показують, що використання ШІ підвищує мотивацію студентів, сприяє розвитку критичного мислення та формує навички роботи з даними. Однак огляди фіксують і подвійний ефект, а саме створення нових ризиків для глибини та самостійності навчальної діяльності.

Питання академічної доброчесності в контексті цифрових технологій розроблялися ще до появи генеративного ШІ [8, 9], однак саме великі мовні моделі радикально загострили дискусію. У розділі «Academic Integrity and Artificial Intelligence: An Overview» [10] окреслено ключові проблемні поля: автоматизоване генерування текстів, складність виявлення неавторських робіт, зміщення акценту з «виявлення порушень» на «проєктування стійких до зловживань форм оцінювання».

Автори підкреслюють, що традиційні підходи до контролю плагіату втрачають ефективність у ситуації, коли текст створюється не шляхом копіювання, а шляхом генерації. Все це вимагає переорієнтації освітньої політики з каральних практик на превентивні: розвиток цифрової та інформаційної грамотності, прозорі правила використання ШІ, переосмислення форматів оцінювання (усні захисти, проєктні роботи, автентичні завдання).

Вже у статті A. Ateeq та співавтори [11] проаналізовано вплив ШІ на академічні результати та доброчесність у вибірці студентів і викладачів

університетів Бахрейну. Дослідження показало статистично значущий зв'язок між «освітнім впливом» ШІ та академічними результатами ($\beta \approx 0{,}49$, $p < 0{,}001$), а також між педагогічними імплікаціями і результатами ($\beta \approx 0{,}45$, $p = 0{,}010$). Водночас вплив політик та етики на результати виявився помірним ($\beta \approx 0{,}24$).

Отримані дані інтерпретуються як підтвердження того, що якість інтеграції ШІ має більший вплив на результати, ніж формальне існування етичних політик. Це узгоджується з висновками систематичних оглядів, де наголошується, що ефективність ШІ визначається не технологією як такою, а контекстом її використання [7].

Окремий блок емпіричних робіт присвячено генеративному ШІ (зокрема ChatGPT) у вищій освіті. Дослідження у журналах на кшталт «Computers & Education: Artificial Intelligence» (2023-2024) фіксують амбівалентне ставлення студентів і викладачів: з одного боку, інструменти ШІ розглядаються як засіб підтримки навчання, з іншого – як потенційна загроза доброчесності та «розмивання» авторства. Науковці все частіше наголошують на ризиках: залежність від автоматизованих рішень, зниження самостійності, можливість порушення доброчесності через неконтрольоване використання генеративних моделей.

Отже, аналіз монографій та статей дозволяє виокремити кілька стійких тенденцій:

- ШІ як фактор підвищення якості навчання [7];
- зміна парадигми оцінювання [10];
- ключова роль педагогічного дизайну [7];
- необхідність розвитку цифрової та етичної компетентності.

Використання ШІ в освітньому процесі забезпечує такі позитивні ефекти, як підвищення якості навчальних матеріалів завдяки автоматизованій генерації прикладів, задач, пояснень; зростання індивідуалізації навчання; оптимізація часу викладача; розвиток цифрових компетентностей студентів (рис. 1). Але водночас

виявлено низку ризиків, серед яких можливість використання ШІ для неавторських робіт; зниження глибини засвоєння матеріалу; потреба у формуванні цифрової грамотності та навичок відповідального використання ШІ (рис. 1). Водночас науковці наголошують на ризиках: залежність від автоматизованих рішень, зниження самостійності, можливість порушення доброчесності через неконтрольоване використання генеративних моделей.

Рис. 1. Вплив ШІ на якість навчання

Для узагальнення виявлених підходів та структурування впливу ШІ на освітній процес нами запропоновано модель, що відображає ключові компоненти цього впливу (рис. 2).

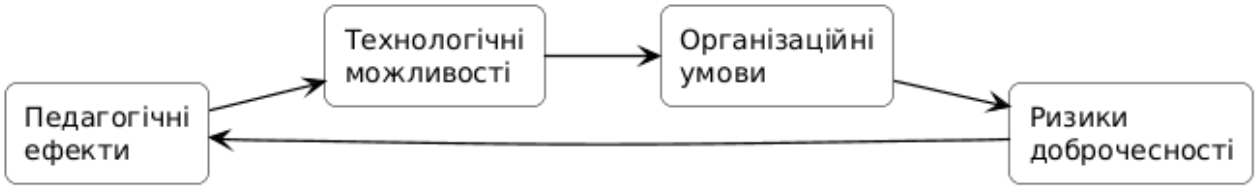


Рис. 2. Компоненти впливу ШІ на освітній процес

Таким чином, штучний інтелект є потужним інструментом модернізації освіти, здатним підвищити якість навчання та ефективність педагогічної діяльності. Проте його використання потребує чітких правил, розвитку цифрової культури та формування відповідального ставлення до технологій.

Перспективними напрямами подальших досліджень є створення адаптивних освітніх середовищ, інтелектуальних симуляторів та систем автоматизованої аналітики навчальних траєкторій.

Список використаних джерел

1. Куцак Л. В. Штучний інтелект у сучасній освіті: перспективи застосування та виклики. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. № 74. С. 27-37. https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-74-27-37
2. Олексенко К. Б. Освіта в умовах змін, інновацій та викликів. Міжнародна науковометодична конференція «*Університетська наука і освіта: традиції та інновації*». 2021. С. 77-78.
3. Олексенко Р., Олексенко К., Компанієць В. Філософія цифрової освіти 4.0 як новий науковий напрямок та її вплив на підготовку майбутніх професіоналів. *Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій*. 2024. С. 64-107.
4. Андрюкайтене Р., Олексенко К., Дяденчук А. Інтеграція штучного інтелекту в освітній процес: переваги та етичні аспекти. *Розвиток сучасної науки та освіти*: реалії, проблеми якості, інновації. 2024. С. 206-210.
5. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign, 2019. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10139722 (дата звернення 10.05.2026).
6. Luckin R., Holmes W., Griffiths M., Forcier L. B. Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education. London: Pearson, 2016. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1475756 (дата звернення 10.05.2026).
7. Garzón J., Patiño E., Marulanda C. Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2025. V. 9(8). P. 84. https://doi.org/10.3390/mti9080084
8. Dawson R. J. Defending Assessment Security in a Digital World: Preventing E-Cheating and Supporting Academic Integrity in Higher Education (1st ed.). Routledge, 2020. https://www.routledge.com/Defending-Assessment-Security-in-a-Digital-World-Preventing-E-Cheating/Dawson/p/book/9780367341527 (дата звернення 19.05.2026).
9. Eaton S. E. Plagiarism in Higher Education. London : Bloomsbury Publishing, 2021. https://digital.casalini.it/9781440874383 (дата звернення 19.05.2026).

10. Kumar R., Eaton S.E., Mindzak M., Morrison R. Academic Integrity and Artificial Intelligence: An Overview. In: Eaton, S.E. (eds) Handbook of Academic Integrity. Springer, Singapore, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-287-079-7_153-1
11. Ateeq A., Alzoraiki M., Milhem M., and Ateeq R.A. Artificial intelligence in education: implications for academic integrity and the shift toward holistic assessment. *Front. Educ*. 2024. V. 9. P. 1470979. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1470979

УДК 37.091.12:004

Vitalii Svyrydiuk, Doctor of Philosophy,
Research Fellow of the Department of Content
and Technologies of Vocational Education
Institute of Vocational Education of the
National Academy of Educational Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

FORMATION OF DIGITAL COMPETENCIES IN FUTURE SKILLED WORKERS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY TO ENSURE ENERGY EFFICIENCY OF FACILITIES

Анотація. У статті досліджено актуальну проблему формування цифрових компетентностей у здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти будівельного профілю в умовах повоєнної відбудови України. Проаналізовано ключові інституційні та технологічні бар'єри, що перешкоджають впровадженню інформаційних технологій моделювання (BIM) та енергоефективних рішень на рівні безпосередніх виконавців будівельних робіт. Обґрунтовано необхідність оновлення освітніх стандартів для підготовки конкурентоспроможних кваліфікованих робітників.

Ключові слова: професійна освіта, цифрові компетентності, енергоефективність, BIM-технології, будівельна галузь, кваліфіковані робітники..

Abstract. This paper explores the urgent problem of developing digital competencies among students of vocational education and training (VET) in the construction sector amid Ukraine's post-war reconstruction. Key institutional and technological barriers hindering the implementation of Building Information Modeling (BIM) and energy-efficient solutions at the level of direct construction workers are analyzed. The necessity of updating educational standards to train competitive skilled workers is substantiated.

Keywords: vocational education, digital competencies, energy efficiency, BIM technologies, construction industry, skilled workers.

The post-war reconstruction of Ukraine, coupled with the global trend of transitioning to a "green" economy, poses unprecedented challenges for the domestic construction industry. In the Ukrainian context, the process of thermal modernization and the construction of energy-efficient buildings is complicated by the systemic problem of

a shortage of highly qualified personnel, which directly affects the macroeconomic development of the state. [1]

In scientific discourse, the issue of digitalization and energy efficiency in construction (in particular, the implementation of Building Information Modeling – BIM technologies) is traditionally considered through the prism of training design engineers and architects. [2] At the same time, the critical link determining the final quality of an energy-efficient facility remains the skilled worker – a graduate of a vocational education and training (VET) institution. High-precision calculations by engineers lose their meaning if the direct executor on the construction site lacks the digital competencies to read data from electronic models, set up heat recovery systems, or control the airtightness of structures using digital devices.

An analysis of current literature and reports from international organizations (European Training Foundation, UNDP) allows identifying a number of specific barriers that hinder the process of forming digital "green" skills in vocational education students [3, 4]:

Lack of a unified training system and outdated standards. Currently, VET educational standards only fragmentarily cover the issues of energy efficiency and digital tools, which creates a gap between the graduate and the technological requirements of a modern construction site. [5]

Lack of practical skills and infrastructural limitations. The mismatch between theoretical training and real production processes is the most frequent limiting factor [6,.7]

Financial and regulatory constraints. High capital costs for purchasing modern digital equipment for VET workshops often become an insurmountable obstacle, which requires wider involvement of ESCO (Energy Service Company) mechanisms for innovative training and practical centers. [4]

Professional inertia and resistance to innovation. The introduction of digital tools for calculating energy efficiency often faces psychological resistance from foremen and masters, which requires targeted ecologically-oriented training. [8,.7]

Overcoming these barriers is vital to ensure the macroeconomic stability of the state. According to research, the deficit of digital and practical competencies among workers leads to a significant decrease in the overall energy-saving potential in the construction industry. [7]

An effective digital transformation of construction-related vocational education institutions requires the implementation of several strategic vectors. First of all, this is the scaling up of the idea of "Energy Innovative Hubs", which function in Ukraine with the support of European partners. [3] An important step is the ecologically-oriented training of construction industry specialists, which allows forming a systemic understanding of energy efficiency in future workers.8 According to the results of systematic reviews of the Scopus and Web of Science scientometric databases, the most promising innovative direction for improving efficiency is the implementation of BIM modeling at all stages of the building's life cycle, which makes basic skills in working with such systems a critical requirement for blue-collar workers. [2]

The second vector is the mandatory integration of elements of an interdisciplinary approach. A modern worker must understand not only the mechanics of their specific task but also how their actions affect the overall energy balance of the building, which is impossible without basic digital data analysis skills [1,.8]

The third and most important step is the full-scale deployment of the dual form of education. Synchronizing the educational process with the technological leaders of the construction market will allow students to master digital competencies directly while working with real building information models (BIM) and high-tech materials.

Thus, the training of future skilled workers in the construction industry must go beyond purely manual skills. The formation of digital competencies to ensure and monitor energy efficiency is a basic condition for creating a sustainable, carbon-neutral housing

stock during the post-war reconstruction of Ukraine. The absence of systemic steps in this direction threatens not only economic losses but also a loss of competitiveness of the national construction industry in the European market.

References

1. Andriushchenko K. Energy efficiency of enterprises as a key factor in the development of the country's economy. *Scientific Journal of Polonia University*. 2019. Vol. 33, No. 2. P. 36–49.
2. European Training Foundation. Ukraine's Energy Innovative Hubs. 2025. URL: https://www.etf.europa.eu/en/news-and-events/news/ukraines-energy-innovative-hubs (дата звернення 08.05.2026).
3. Hochman G., Timilsina G. R. Energy efficiency barriers in commercial and industrial firms in Ukraine: An empirical analysis. *Energy Economics*. 2017. Vol. 63. P. 106–115.
4. Pashchenko T. Energy-efficient reconstruction of Ukraine: Ecologically-oriented training of construction industry specialists. *Professional Pedagogics*. 2025. Vol. 1, No. 28. P. 96–104.
5. Pereira V., Santos J., Leite F., Escórcio P. Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 250. 111292.
6. Radkevych V., Kruchek V., Pryhodii M., Voronina-Pryhodii D. Standards in vocational teacher education in Ukraine: Problems and fields of tension. Partnership-based governance and standardization of vocational teacher education in Ukraine. Wbv Media, 2024. P. 261–292.
7. Ryghaug M., Sorensen K. H. How energy efficiency fails in the building industry. *Energy Policy*. 2009. Vol. 37, No. 3. P. 984–991.
8. United Nations Development Programme Ukraine. Removing barriers to increase investment in energy efficiency in public buildings in Ukraine through the ESCO modality. 2023. URL: https://www.undp.org/ukraine/projects/removing-barriers-increase-investment-energy-efficiency-public-buildings-ukraine-through-esco-modality-small-and-medium-sized (дата звернення 08.05.2026).

УДК 37.091.12:004

Валерія Павлова, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри педагогічної освіти та соціальної реабілітації,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
м. Одеса, Україна

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНІСТІ МАЙБУТНІХ ВИКЛАДАЧІВ ЗВО

Анотація. У тезах обґрунтовано актуальність проблеми розвитку цифрової компетентності майбутніх викладачів закладів вищої освіти в умовах цифрової трансформації та сучасних безпекових викликів**.** На основі інтеграції сучасних підходів сформульовано поняття цифрової компетентності майбутнього викладача, що поєднує критичність, відповідальність та деонтологічні засади взаємодії з цифровим простором. Зосереджено увагу на тому, що практичне оперування засобами інформаційних технологій є наскрізною умовою реалізації всіх компонентів досліджуваної компетентності від інструментальних навичок до етичних установок.

Ключові слова: цифрова компетентність, майбутні викладачі ЗВО, інформаційні технології, цифрове освітнє середовище.

Abstract. The abstract substantiates the relevance of developing the digital competence of future higher education institution teachers in the context of digital transformation and modern security challenges. Based on the integration of modern approaches, a concept of the future teacher’s digital competence is formulated, combining criticality, responsibility, and deontological principles of interaction with the digital space. The focus is placed on the fact that the practical operation of information technology tools is a cross-cutting condition for the realization of all components of the competence under study, ranging from instrumental skills to ethical attitudes.

Keywords: digital competence, future higher education institution teachers, information technologies, digital educational environment.

В Україні цифровізація ЗВО стала способом забезпечення безперервності, гнучкості та стійкості освітнього процесу, відтак формування викладача нового покоління неможливе без його здатності вільно орієнтуватися у цифрових інструментах та технологіях. Однією з базових вимог Європейської рамки цифрових компетентностей, а також Стандартів вищої освіти України, є цифрова

компетентність викладача. Майбутній викладач має володіти інформаційними технологіями (ІТ) не просто на рівні користувача, а як інструментом антикризового управління навчанням, саме тому роль інформаційних технологій у цьому процесі стала системоутворюючим фактором.

Виникає протиріччя між високими темпами оновлення цифрового інструментарію та станом методичної підготовки майбутніх викладачів у магістратурі й аспірантурі, де потенціал ІТ часто реалізується без належного дидактичного обґрунтування та акценту на цифрову гігієну. Відтак це актуалізує потребу в теоретичному осмисленні та практичному визначенні ролі інформаційних технологій як провідного засобу розвитку цифрової компетентності майбутніх викладачів ЗВО.

Дослідження щодо цифровізації вищої освіти та формування цифрової компетентності науково-педагогічних працівників в Україні розвивається достатньо динамічно, значна увага приділяється адаптації до умов змішаного та дистанційного навчання, а також інтеграції європейської рамки DigCompEdu, розвитку цифрової компетентності педагогів та викладачів, зокрема, в контексті використання хмарних сервісів та штучного інтелекту цим питанням присвячені роботи Барда С.І., Гринько В., Міщук А.Ю., Петрова Л.Г., Сидоренко В.В., Спіріна О.М., та ін.

Метою дослідження є виявлення та обґрунтування ролі інформаційних технологій як провідного засобу та інструментальної основи розвитку цифрової компетентності майбутніх викладачів ЗВО в умовах цифровізації вищої школи.

Цифровізація є фактором, що призводить до удосконалення освітнього процесу та забезпечує підготовку фахівців, які здатні ефективно взаємодіяти та орієнтуватися в інформаційному просторі, що відповідає вимогами сучасного суспільства. Ключовим аспектом такої трансформації є цифрова компетентність майбутнього викладача ЗВО, що базується на впевненому та критичному

використанні ІТ, інструментальну основу цього процесу складають хмарно-орієнтовані технології та платформи й мультимедійні засоби.

Інформаційні технології забезпечують технологічну та методичну базу для формування цифрової компетентності, дозволяючи майбутнім викладачам стати здатними проектувати власне освітнє середовище та працювати у мережевих професійних спільнотах. Практична взаємодія з інформаційними технологіями є наскрізною умовою реалізації кожного компонента цифрової компетентності, інтегруючи операційно-технічні вміння та етичні засади викладача.

Науковці активно досліджують цифрову компетентність освітян, так цифрова компетентність визначається як:

- «впевнене, критичне та відповідальне використання цифрових технологій для навчання, роботи, участі у суспільному житті та відповідальна взаємодія з ними» [3];
- «систематичний і поетапний процес набуття та вдосконалення знань, умінь і навичок, пов’язаних з ефективним використанням цифрових технологій у професійній освіті» [2];
- «здатність особистості використовувати в освітньому процесі цифрові ресурси, мобільні пристрої, хмарні технології, об’єкти віртуальної реальності, а також створювати й ефективно використовувати можливості цифрового освітнього середовища» [1].

Тобто, цифрова компетентність педагогів є складним інтегрованим поняттям, яке має кілька взаємопов’язаних визначень залежно від контексту.

Під цифровою компетентністю майбутнього викладача ЗВО розуміємо інтегрований результат розвитку його особистості, який виявляється у готовності до безпечної, критичної та відповідальної взаємодії з цифровими ресурсами, а також у спроможності дидактично доцільно інтегрувати мобільні, хмарні та імерсійні технології в освітній процес з метою моделювання ефективного цифрового навчального простору.

Цифрова компетентність майбутнього викладача не обмежується технічними навичками, а охоплює ширший спектр сфер пошуку, фільтрації, критичної оцінки та управління даними, взаємодію за допомогою цифрових технологій, розробку та редагування матеріалів, розуміння питань інтелектуальної власності та авторського права, захист пристроїв, персональних даних, навички цифрової конфіденційності та кібербезпеки і мережевого етикету.

Стосовно розвитку цифрової компетентності майбутніх викладачів ЗВО, то базується він в процесі навчання дисциплінам інформаційної ланки через знання фактів, концепцій та теорій, що сприяють розумінню цифрової сфери, здатності виконувати процеси та використовувати знання для досягнення результатів та діяльності в цифровому середовищ.

Таким чином, в умовах масштабної цифровізації та сучасних безпекових викликів роль інформаційних технологій у підготовці науково-педагогічних кадрів зазнала трансформації. Інформаційні технології виступають не просто додатковим технічним засобом навчання, а базовим методологічним та інструментальним підґрунтям для формування цифрової компетентності майбутніх викладачів ЗВО, де технічна грамотність нерозривно пов’язана з критичністю, деонтологічними засадами та культурою кібергігієни, що забезпечує готовність майбутнього викладача проектувати гнучке, інклюзивне та безпечне цифрове освітнє середовище, поєднуючи технологічні навички з вимогами академічної доброчесності. Праксеологічна взаємодія з новітнім ІТ-інструментарієм є наскрізною умовою розвитку всіх компонентів досліджуваної компетентності.

Список використаних джерел

1. Антонченко М. О. Сутність інформаційно-цифрової компетентності педагога у системі післядипломної педагогічної освіти. *Інформаційно-цифрова компетентність педагога: теорія і практика*. 2018. Вип. 1. С. 4–12.
2. Ковальчук А. Розвиток цифрової компетентності майбутніх педагогів професійного навчання в умовах цифровізації. *Молодь і ринок*. 2023. № 11-12 (219 - 220). С.148-153. https://doi.org/10.24919/2308-4634.2023.296992

3. ANNEX to the Proposal for a Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning : Commission Staff Working Document, Brussels, 17.1.2018, SWD(2018) 14 final / European Commission. Brussels, 2018. 16 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018PC0024&from=EN (дата звернення 18.05.2026).

УДК 377:37.091.12:004

Олександр Гуменний, кандидат педагогічних наук,
старший науковий співробітник відділу
наукового інформаційно-аналітичного супроводу освіти,
Державна науково-педагогічна бібліотека України
ім. В. О. Сухомлинського, м. Київ, Україна

РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНО-ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВИКЛАДАЧІВ ЗАКЛАДІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Анотація. У матеріалах доповіді розглянуто проблему розвитку професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти в умовах цифрової трансформації освітнього середовища. Обґрунтовано необхідність удосконалення професійної діяльності викладачів через інтеграцію сучасних цифрових технологій, цифрових платформ та інноваційних педагогічних рішень. Охарактеризовано структурні компоненти професійно-цифрової компетентності, педагогічні умови її розвитку та можливості використання цифрового середовища Smart EcoSystem і платформи Microsoft Teams для забезпечення безперервного професійного розвитку. Визначено перспективи підвищення ефективності професійної підготовки педагогічних працівників в умовах цифровізації освіти.

Ключові слова: професійно-цифрова компетентність, викладачі закладів професійної освіти, цифрова трансформація освіти, Smart EcoSystem, Microsoft Teams, цифрове освітнє середовище.

Abstract. The paper considers the problem of developing the professional and digital competence of vocational education teachers under conditions of digital transformation of the educational environment. The necessity of improving teachers' professional activities through the integration of modern digital technologies, digital platforms, and innovative pedagogical solutions is substantiated. The structural components of professional and digital competence, pedagogical conditions for its development, and the possibilities of using the Smart EcoSystem environment and the Microsoft Teams platform to support continuous professional development are characterized. Prospects for increasing the effectiveness of professional training of teaching staff in the context of educational digitalization are determined.

Keywords: professional and digital competence, vocational education teachers, digital transformation of education, Smart EcoSystem, Microsoft Teams, digital educational environment.

Сучасний етап розвитку освіти характеризується масштабними процесами цифрової трансформації, що супроводжуються активним упровадженням інформаційно-комунікаційних технологій у професійну діяльність педагогічних працівників. Цифровізація освітнього середовища сприяє зміні традиційних підходів до організації навчального процесу, удосконаленню методів педагогічної взаємодії, розширенню можливостей доступу до освітніх ресурсів і створенню нових механізмів професійного розвитку викладачів. У сучасних умовах професійна діяльність педагогічних працівників дедалі більше орієнтується на використання цифрових платформ, хмарних технологій, систем управління навчанням та інструментів мережевої комунікації [1].

Для закладів професійної освіти зазначені процеси набувають особливої значущості, оскільки підготовка конкурентоспроможних фахівців передбачає використання сучасних технологічних рішень і формування цифрової культури всіх учасників освітнього процесу. За таких умов професійна діяльність викладача вже не обмежується передаванням навчальної інформації, а охоплює проєктування цифрового освітнього контенту, організацію інтерактивної взаємодії, здійснення освітньої аналітики та забезпечення індивідуалізації навчання [2].

У зв’язку із цим актуалізується проблема розвитку професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти. Професійно-цифрову компетентність доцільно розглядати як інтегративну професійну якість особистості, що поєднує мотиваційно-ціннісні установки, професійні знання, цифрові навички, здатність до професійної комунікації, рефлексії та творчого використання цифрових технологій у професійній діяльності [3].

Наведене трактування професійно-цифрової компетентності дозволяє розглядати її не як сукупність окремих цифрових знань і навичок, а як цілісне професійно-особистісне утворення, що формується у процесі безперервного професійного розвитку викладача та визначає готовність викладача до професійної діяльності в умовах цифрового освітнього середовища [3]. Динамічність

технологічних змін, розвиток цифрового суспільства та трансформація сучасних освітніх практик зумовлюють необхідність системного осмислення цього феномену [1].

Аналіз сучасних наукових підходів до цифровізації професійної освіти засвідчує, що професійно-цифрова компетентність є складним багатокомпонентним утворенням, розвиток якого відбувається під впливом педагогічних, технологічних, організаційних та особистісних чинників. Ефективність професійної діяльності викладачів залежить не лише від рівня володіння цифровими інструментами, але й від здатності інтегрувати їх у професійну діяльність, здійснювати цифрову комунікацію, проводити рефлексивний аналіз результатів діяльності та проєктувати інноваційні освітні рішення [2]. У зв'язку з цим професійно-цифрову компетентність доцільно розглядати як інтегровану систему взаємопов'язаних компонентів, структура яких представлена на рис. 1.

Рис. 1. Концептуальна структура професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти

Як представлено на рис. 1, професійно-цифрова компетентність викладачів закладів професійної освіти характеризується складною внутрішньою структурою,

компоненти якої перебувають у постійній взаємодії та взаємозумовлюють ефективність професійної діяльності в умовах цифровізації освітнього середовища. Кожен із визначених компонентів виконує окрему функцію у процесі професійного розвитку викладача, тоді як їх сукупна взаємодія забезпечує цілісність формування професійної готовності до використання цифрових технологій у педагогічній діяльності.

У сучасних умовах цифрової трансформації освіти важливого значення набуває не лише визначення структурних складників професійно-цифрової компетентності, але й створення технологічного середовища для їх практичної реалізації. Ефективний розвиток професійно-цифрової компетентності потребує інтеграції сучасних цифрових платформ, хмарних сервісів, засобів цифрової комунікації та інструментів професійної взаємодії, які забезпечують підтримку безперервного професійного розвитку педагогічних працівників. У межах проведеного дослідження як інтегроване цифрове середовище професійного розвитку розглядається **Smart EcoSystem**, яке об’єднує цифрові ресурси, комунікаційні сервіси, засоби професійної взаємодії та інструменти освітньої аналітики. Практична реалізація окремих функціональних складників зазначеного середовища здійснювалася із використанням платформи **Microsoft Teams**, яка забезпечує організацію професійної комунікації, спільну діяльність, обмін цифровим контентом та підтримку професійного саморозвитку викладачів [3].

З огляду на це виникає необхідність деталізації змістового наповнення визначених компонентів, засобів їх реалізації в цифровому освітньому середовищі та очікуваних результатів професійного розвитку викладачів. Узагальнену характеристику складників розвитку професійно-цифрової компетентності в умовах використання цифрового середовища Smart EcoSystem представлено в табл. 1.

Як представлено в табл. 1, розвиток професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти характеризується комплексним поєднанням

взаємопов’язаних складників, кожен із яких виконує окрему функцію у системі професійного розвитку. Їх інтеграція в умовах цифрового освітнього середовища забезпечує формування цілісної професійної готовності викладача до здійснення педагогічної діяльності в умовах цифрової трансформації освіти.

Таблиця 1. Характеристика складників розвитку професійно-цифрової компетентності викладачів закладів професійної освіти в умовах цифрової трансформації освітнього середовища

Компонент професійно-цифрової компетентності	**Зміст компонента**	**Засоби реалізації в цифровому освітньому середовищі**	**Очікуваний результат**
Мотиваційно-ціннісний	Формування професійної мотивації до використання цифрових технологій, позитивного ставлення до цифрових змін	цифрові тренінги, вебінари, професійні спільноти, онлайн-курси	Підвищення готовності до професійного цифрового розвитку
Когнітивний	Засвоєння цифрових знань, методик використання цифрових технологій та сучасних педагогічних підходів	електронні освітні ресурси, цифрові бібліотеки, LMS-платформи	Розширення цифрових і професійно-педагогічних знань
Діяльнісно-технологічний	Практичне використання цифрових технологій у професійній діяльності	Microsoft Teams, цифрові платформи, хмарні сервіси, інтерактивні інструменти	Удосконалення цифрових навичок і практичних умінь
Комунікаційно-мережевий	Організація професійної взаємодії та цифрової комунікації	відеоконференції, онлайн-чати, мережеві освітні спільноти	Розвиток професійної комунікативної взаємодії
Рефлексивно-аналітичний	Аналіз результатів професійної діяльності та самооцінювання	цифрові портфоліо, аналітичні інструменти,	Розвиток навичок самоаналізу та професійного вдосконалення

Компонент професійно-цифрової компетентності	Зміст компонента	Засоби реалізації в цифровому освітньому середовищі	Очікуваний результат
		електронні системи оцінювання	
Інноваційно-проєктувальний	Розроблення нових цифрових освітніх рішень і проєктів	Smart EcoSystem, цифрові конструктори, засоби штучного інтелекту	Формування здатності до інноваційної діяльності

Список використаних джерел

1. European Commission. *Digital Education Action Plan 2021–2027: Resetting Education and Training for the Digital Age*. Брюссель : European Commission, 2021. URL: Digital Education Action Plan 2021–2027 (дата звернення 19.05.2026).
2. Ifenthaler D., Yau J. Y.-K. Utilising learning analytics for study success: reflections on current empirical findings. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*. 2020. Vol. 15, Article 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/330456558_Utilising_Learning_Analytics_for_Study_Success_Reflections_on_Current_Empirical_Findings (дата звернення 19.05.2026).
3. Гуменний О. Д. Розвиток цифрової компетентності викладачів професійно-теоретичної підготовки в процесі використання цифрової платформи SMART EcoSystem for Students. *Професійна педагогіка*. 2025. № 1 (30). С. 221–230.

УДК 004.925:535.6

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерне проєктування,
Максим Супрун, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерне проєктування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерне проєктування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

КОЛІРНІ РЕЖИМИ ТА МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

Анотація. Людське око здатне сприймати світлове випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 380 до 770 нм, розрізняючи при цьому приблизно 10 тисяч різних кольорів. Хвилі різної довжини око сприймає по-різному. Найбільш чутливим є сприйняття зеленого кольору, далі - червоного, а потім синього. Людина краще розрізняє кольори об'єктів, що знаходяться ближче, ніж тих, які розташовані на значній відстані. Крім того, колір дрібних об'єктів сприймається значно гірше. Здатність до розрізнення кольорів є індивідуальною особливістю людини [2]. На сприйняття кольору також впливає спосіб його відтворення: однакові зображення, відображені на різних пристроях, можуть виглядати по-різному. Проблема точного відтворення кольору є складною і досі не має повністю досконалого вирішення. Колір відіграє важливу роль у підсиленні візуального враження від зображення та збільшенні його інформаційної насиченості. Відчуття кольору формується мозком людини внаслідок аналізу світлового потоку, що потрапляє на сітківку ока від об'єктів, які випромінюють або відбивають світло.

Ключові слова: фізичні характеристики світлового потоку, потужність, яскравість, освітленість, монохроматичне випромінювання, глибина кольору, або колірна роздільна здатність.

Abstract. The human eye is capable of perceiving light radiation in the wavelength range from 380 to 770 nm, distinguishing approximately 10,000 different colors. The eye perceives waves of different lengths differently. The eye is most sensitive to green, followed by red, and then blue. People are better at distinguishing the colors of objects that are closer than those located at a considerable distance. In addition, the colors of small objects are perceived much less clearly. The ability to distinguish colors is an individual characteristic of a person. Color perception is also influenced by how it is reproduced: identical images displayed on different devices may look different. The problem of accurate color reproduction is complex and has yet to be fully solved. Color plays an important role in enhancing the visual impression of an image and increasing its

information density. The perception of color is formed by the human brain through the analysis of the light flux reaching the retina from objects that emit or reflect light.

Keywords: physical characteristics of luminous flux, power, brightness, illuminance, monochromatic radiation, color depth, or color resolution.

Фізичні характеристики світлового потоку визначаються такими параметрами, як потужність, яскравість та освітленість. Насиченість кольору показує ступінь відмінності певного кольору від монохроматичного («чистого») випромінювання того самого кольорового тону. Ахроматичні кольори – білий, сірий і чорний – характеризуються лише світлотою, тобто рівнем відбиття світла. Білий і чорний кольори відповідають крайнім межам діапазону: чорний – мінімальній інтенсивності, а білий – максимальній. Хроматичні кольори характеризуються трьома параметрами: насиченістю, світлотою та колірним тоном.

Глибина кольору, або колірна роздільна здатність, у комп’ютерній графіці визначає спосіб кодування колірної інформації для її подальшого відображення на екрані монітора: 2 біти використовуються для чорно-білого зображення, а 8, 16 і 24 біти – відповідно для відображення 256, 65536 і понад 16,5 мільйонів відтінків кольору.

Основна частина. Колірна модель – це спосіб представлення кольорів спектра у вигляді набору числових значень певних базових компонентів.

Колірні моделі поділяються на два основні типи: моделі представлення кольору випромінюваного світла та моделі представлення кольору відбитого світла.

У цьому випадку випромінюючим об’єктом виступає екран монітора, а об’єктами, що відбивають світло, є папір, фарба чи пігмент, які самостійно не випромінюють світла, а лише відображають його від сонця або штучного джерела освітлення.

Людське око не може відрізнити певний колір від кольору, отриманого шляхом змішування інших кольорів. Цю особливість люди помітили ще в давнину,

тому замість створення великої кількості окремих фарб різних відтінків традиційно використовують обмежений набір кольорів – від кількох до кількох сотень, а всі інші відтінки отримують шляхом їх змішування. Такі базові кольори називають «первинними» (primarycolors) [1].

Людське око здатне розрізняти приблизно до одного мільйона кольорів [1]. Тому створення зображень із надмірно великою кількістю кольорів практично не має сенсу, оскільки для людини вони виглядатимуть однаково.

У зв'язку з цим використовують колірні схеми або моделі (colorschemes) – набір первинних кольорів, за допомогою яких утворюються всі інші кольори.

Відповідно до принципів формування зображення адитивним або субтрактивним методами були створені способи подання кольору у вигляді окремих компонентів, які називаються моделями кольору [3].

В адитивних моделях нові кольори утворюються шляхом додавання основних кольорів до чорного. Поєднання всіх базових кольорів із максимальною інтенсивністю створює чистий білий колір, а при нульових значеннях інтенсивності утворюється чорний колір.

У субтрактивних моделях нові кольори формуються шляхом віднімання основних кольорів від білого. У цьому випадку поєднання всіх базових кольорів із максимальною інтенсивністю дає чорний колір, а за нульових значень інтенсивності отримується білий колір.

Найпоширенішими колірними моделями є RGB, CMY, HSB та CIE Lab.

1.Модель RGB (Red-Green-Blue – червоний-зелений-синій). Екран (як і будь-яке інше не випромінююче світлотіло) – спочатку темний. Його початковим кольором є чорний. Інші кольори на ньому одержують шляхом використання комбінації таких трьох кольорів (традиційно в кольорових кінескопах використовуються три «гармати»), які в своїй суміші повинні утворити білий колір. Дослідним шляхом була виведена комбінація **«червоний, зелений, синій»- RGB - red/green/blue**, які отримали назву **основні кольори** (рис. 1). Значення

інтенсивності кожного компоненту задається цілим числом від **0 до 255.** За допомогою моделі RGB можна описати близько 16,7 млн кольорів. Чорний колір в схемі відсутній, оскільки ми його і так маємо – це колір «чорного» екрану. Отже відсутність кольору в схемі RGB відповідає чорному кольору.

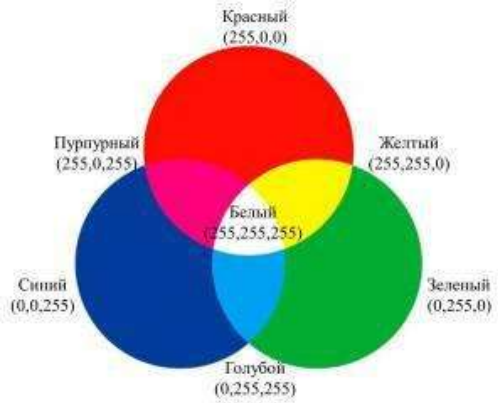


Рис. 1. Графічне представлення моделі RGB

Ця модель застосовується в тих випадках, коли готується комп’ютерне зображення, що призначене для перегляду на екрані монітора або телевізора.

Ця система кольорів називається **адитивною (additive),** що в перекладі означає «додавальна» або «та, що складається». Її суть полягає в тому, що за основу береться чорний колір, тобто відсутність світла, а потім до нього додаються первинні кольори, які при поєднанні утворюють білий колір.

Якість зображення на екрані визначається кількома факторами [4]: характеристиками монітора, здатністю відтворювати глибокий чорний колір, розміром точок, з яких формується зображення, якістю відеосистеми, що поєднує кольори з трьох базових компонентів, а також умовами навколишнього освітлення – наприклад, у темному приміщенні чи при яскравому сонячному світлі.

Отже, система RGB є адитивною моделлю кольору. Вона базується на поєднанні трьох основних кольорів у різних пропорціях і використовується для електронного відтворення зображень на екранах моніторів. При накладанні компонентів основних кольорів яскравість сумарного випромінювання

збільшується. Поєднання трьох компонентів утворює ахроматичний сірий колір, який зі збільшенням яскравості наближається до білого [1].

2. **Модель CMY (Cyan-Magenta-Yellow – голубий-пурпурний-жовтий).** Папір спочатку має білий колір. Це означає, що він здатний відбивати весь спектр світла, яке на нього потрапляє. Чим якісніший папір, тим краще він відображає всі кольори, і тим білішим він нам здається. Якщо ж папір містить домішки або недостатню кількість білил, він гірше відбиває світло та виглядає сірим.

Протилежним прикладом є асфальт. Новий якісний асфальт без домішок має майже ідеально чорний вигляд, оскільки поглинає практично всі кольори світла, що на нього потрапляють. З часом на його поверхні накопичуються пил, пісок, дрібна галька та інші речовини, які починають відбивати світло. Через це асфальт втрачає насичений чорний колір і стає сірим.

Барвники є речовинами, що поглинають певні кольори світла. Якщо барвник поглинає всі кольори, крім червоного, то при денному освітленні він виглядатиме червоним, оскільки саме цей колір відбивається. Якщо ж освітити такий барвник синім світлом, він здаватиметься чорним, адже синій колір ним поглинається.

Наносячи різні барвники на білий папір, можна зменшувати кількість кольорів, які він відбиває. Наприклад, якщо барвник поглинає всі кольори, окрім синього, то папір буде виглядати синім. Аналогічним способом утворюються й інші кольори.

Відповідно, існують певні комбінації кольорів, змішування яких дозволяє практично повністю поглинути світло, що відбивається папером, і отримати чорний колір. Експериментальним шляхом була визначена комбінація «фуксин-ціан-жовтий» – **CMY (cyan/magenta/yellow)** [1]**.**

В ідеалі, змішуючи ці кольори, ми повинні були б одержати чорний колір. Проте на практиці так не виходить через технічні якості барвника. У кращому випадку, що ми можемо одержати, – це темно-бурий колір, який лише віддалено

нагадує чорний [5]. Більш того вельми безрозсудно було б використовувати всі три дорогі фарби тільки для того, щоб одержати елементарний чорний колір. Тому в тих місцях, де потрібен чорний, замість комбінації трьох фарб наноситься звичний дешевший чорний барвник. І тому до комбінації CMY звичайно додається буква K (blacK) – яка означає чорний колір.

Білий колір у цій схемі відсутній, оскільки його роль виконує сам папір. У тих місцях, де необхідно отримати білий колір, фарба просто не наноситься. Таким чином, відсутність фарби в моделі CMYK відповідає білому кольору.

Ця система кольорів називається субтрактивною (subtractive), що означає «віднімальна» або «виключаюча». Її принцип полягає в тому, що за основу береться білий колір, тобто наявність усього спектра кольорів, а шляхом нанесення та змішування фарб із нього поступово «віднімаються» окремі кольори аж до отримання чорного.

Якість друкованого зображення залежить від багатьох факторів: якості паперу, ступеня його білизни, чистоти барвників, точності роботи поліграфічного обладнання, правильності розділення кольорів, а також якості освітлення, особливо якщо використовується штучне джерело світла.

Колірна модель **CMYK** застосовується для комп'ютерних зображень, які надалі планується друкувати на принтері або демонструвати на проекційному екрані у відбитому світлі.

Отже, модель **CMY** (**C**yan-**M**agenta-**Y**ellow – голубий-пурпурний-жовтий) є субтрактивною моделлю і використовується для створення зображень на білій поверхні. Голубий, пурпурний і жовтий кольори називають доповняльними, оскільки вони доповнюють основні кольори до білого: голубий є доповненням до червоного, пурпурний – до зеленого, а жовтий – до синього. Частка кожного базового компонента в моделі CMYK задається у відсотках – цілими числами від 0 до 100.

Основною проблемою моделі CMY є те, що накладання доповняльних кольорів на практиці не дозволяє отримати ідеально чистий чорний колір. Саме тому до моделі додають четвертий компонент – чистий чорний колір (blac**K** – чорний). Такий варіант моделі отримав назву **CMYK**.

Перехід з однієї системи в іншу. Головна складність під час переходу з системи RGB у CMYK полягає в тому, що на папері (у моделі CMYK) неможливо відтворити деякі кольори, які легко отримати на екрані [3]. Якщо на моніторі можна задати відтінок із високою точністю, то під час змішування барвників через їхню неідеальну якість досягти такої точності неможливо. Через це зображення, яке на екрані виглядає яскравим і насиченим, при друці може стати бляклим і менш привабливим.

У деяких програмах є можливість заздалегідь перемикатися в режим CMYK і створювати зображення безпосередньо в цій кольоровій моделі.

Адитивний і субтрактивний колір. Телевізори, камери, сканери та монітори комп'ютерів працюють на основі адитивної системи відтворення кольорів (RGB), у якій червоний (R), зелений (G) і синій (B) у поєднанні формують білий колір. Натомість офсетний і цифровий друк, фарби, тканини, пластик і фотографія базуються на субтрактивній системі (CMY/CMYK), де поєднання ціану (C), пурпурного (M) і жовтого (Y) у результаті дає чорний колір (K).

Зберігання зображень у комп'ютері. Усі цифрові пристрої, що працюють із кольором, зберігають, обробляють і відтворюють зображення за допомогою значень RGB [1]. Для збереження цифрового зображення його спочатку розбивають на сітку пікселів (точок). Кожен піксель вимірюється за вмістом червоного, зеленого та синього компонентів. Далі все зображення записується послідовно, піксель за пікселем.

Для збереження зображення площею 3 квадратні дюйми з роздільною здатністю 150 точок на дюйм потрібно 202 500 пікселів або 607 500 байт інформації.

3. Модель HSB (Hue-Saturation-Brightness – відтінок-насиченість-яскравість). Відповідно до цієїмоделіколірвизначаєтьсятрьома компонентами: відтінком (колірним тоном) (**H**ue), насиченістю (**S**aturation) і яскравістю (**B**rightness). При моделюваннікольорів тут не змішуютьосновнікольори, а змінюютьїхвластивості.

Графічно модель HSB можна представити у вигляді кільця, уздовж якого розташовуються відтінки кольорів (рис. 2).

На зовнішньому колі знаходяться чисті спектральні кольори або колірні тони. Відтінок H (Hue) – це сам колір у загальноприйнятому розумінні спектральної палітри (рожевий, блакитний, фіолетовий тощо). Кожному відтінку відповідає певне значення кута, яке задається цілим числом у діапазоні від 0 до 360. Мінімальне і максимальне значення відповідає червоному кольору, а проміжні значення – іншим кольорам спектра (червоний – 0°, жовтий – 60°, зелений – 120° тощо).

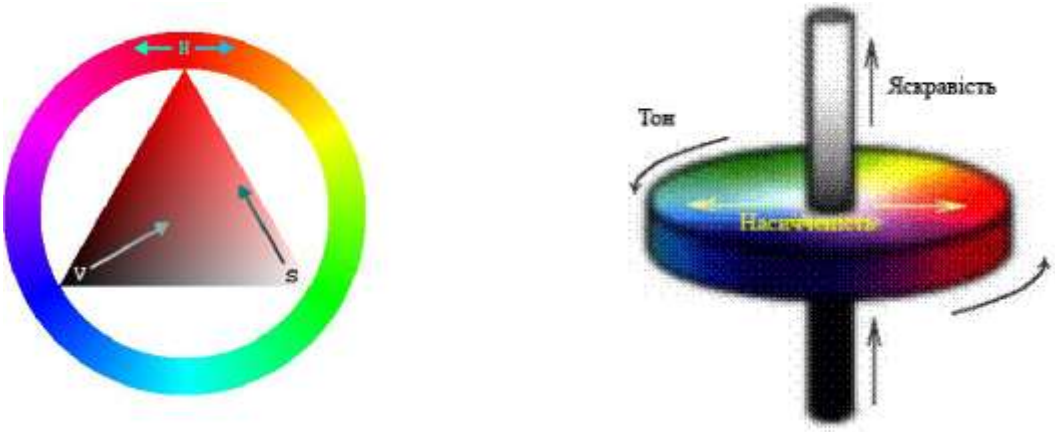


Рис. 2. Графічне представлення моделі HSB

Чим ближче до центра кола розташований колір, тим менша його насиченість і тим більш він бляклий або пастельний. Насиченість S (Saturation) визначається кількістю білого у відтінку: у повністю насиченому кольорі білого немає, тому він є «чистим», тоді як частково насичені кольори виглядають світлішими. Значення

насиченості задається у відсотках від 0 до 100. При мінімальній насиченості будь-який колір наближається до сірого або чорного.

Яскравість (Brightness або Value) відображається на осі, перпендикулярній площині колірного кола. Вона визначається домішкою чорного кольору до вибраного відтінку. Значення яскравості також задається у відсотках від 0 до 100. При мінімальній яскравості будь-який відтінок стає чорним. Яскравість визначає інтенсивність світіння: високі значення відповідають яскравим кольорам, а низькі – темним. Всі кольори на зовнішньому колі мають максимальну яскравість.

Модель HSB зазвичай використовується під час створення зображень на комп'ютері з імітацією роботи художніх інструментів. Після завершення роботи зображення зазвичай конвертують в іншу колірну модель залежно від способу подальшого використання або публікації.

Колірна палітра в комп'ютерній графіці за призначенням подібна до палітри художника, однак містить значно більшу кількість кольорів. Електронна палітра складається з певної кількості комірок, у кожній з яких зберігається окремий колірний тон. Конкретна палітра пов'язана з певною моделлю кольору, оскільки її відтінки формуються на основі колірного простору цієї моделі та включають обмежений набір стандартних кольорів. Графічні програми зазвичай пропонують кілька палітр, кожна з яких відповідає певній колірній моделі.

Склад колірних палітр RGB залежить від обраної глибини кольору: 24, 16 або 8 біт. У випадку 8-бітного режиму палітра називається індексною, оскільки коди кольорів у цьому режимі позначають не сам колір пікселя, а його індекс (номер у палітрі). У такому випадку разом із зображенням обов'язково зберігається і сама палітра.

Зображення, які готуються для публікації в Internet, часто створюються у так званій «безпечній» палітрі, що містить 216 кольорів. Це пов'язано з вимогами сумісності між різними комп'ютерними системами та платформами, щоб зображення виглядало однаково на різних пристроях.

4. Модель HSV (Hue-Saturation-*Value* – відтінок-насиченість-значення кольору). Модель HSV створена Елві Смітом у 1978 році [1]. Її зручно уявляти у вигляді світлової шестигранної піраміди. При цьому по вертикальній осі відкладається значення V, а відстань від осі до бічної грані в горизонтальному перерізі відповідає параметру S (діапазон зміни цих величин – від 0 до 1) (рис. 3).

Шестикутник, що лежить в основі піраміди, є проєкцією колірного куба вздовж його головної діагоналі. Відтінок кольору H задається кутом, який відкладається навколо вертикальної осі, починаючи від червоного кольору. Точки на колі відповідають чистим (максимально насиченим) кольорам. Центральна точка відповідає нейтральному кольору з мінімальною насиченістю (білий, сірий або чорний – залежно від значення яскравості).

Іншими словами, кут визначає відтінок, а довжина вектора – насиченість кольору. Значення S змінюється від 0 на осі піраміди до 1 на її гранях. Значенню V = 0 відповідає вершина піраміди (чорний колір), а значенню V = 1 – основа піраміди, де кольори мають максимальну інтенсивність. Точка з координатами V = 1, S = 0 у центрі основи відповідає білому кольору.

Проміжні значення V при S = 0 (на осі піраміди) відповідають відтінкам сірого. Якщо S = 0, параметр H вважається невизначеним. Значення S = 1 відповідає точкам, що лежать на бічній грані піраміди.

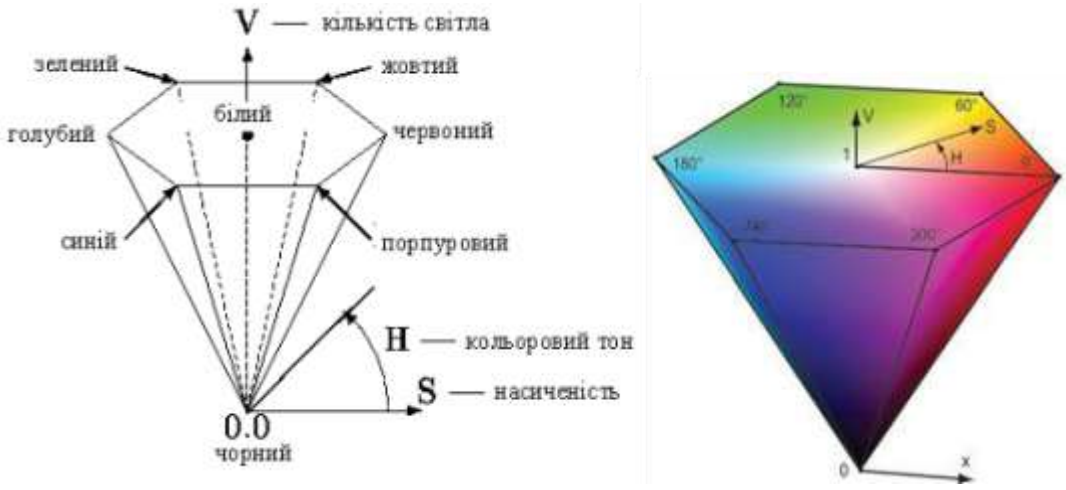


Рис. 3. Графічне представлення моделі HSV

Колірна модель HSV (тон, насиченість, значеннякольору) буларозроблена з метою забезпечення художника засобамиінтуїтивноговиборукольору.

5. Модель HSL (Hue-Saturation-*Lightness* – відтінок-насиченість-освітленість). Розширенням колірної моделі HSV/HSB є HLS. Параметрами якої є Hue, Lightness, Saturation, відповідно: кольоровий тон, кількість світла (освітленість), насиченість. Різниця між моделями HSV/HSB і HLS полягає в заміні нелінійного компоненту “яскравість” на лінійний компонент «освітлення».

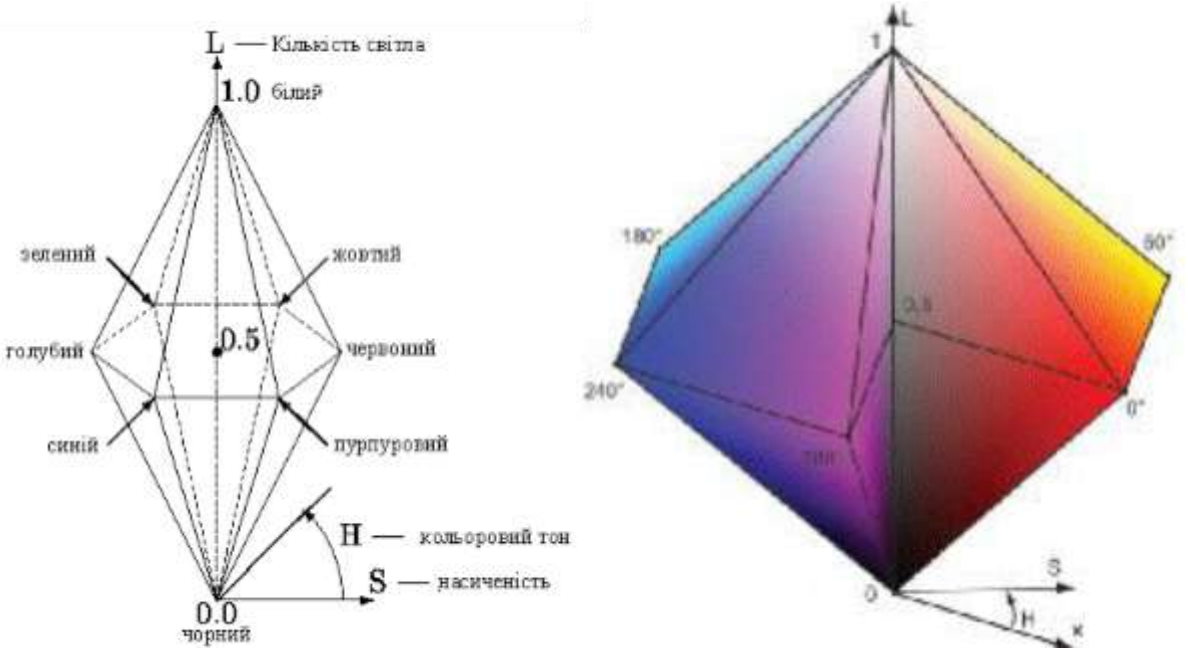


Рис. 4. Графічне представлення моделі HSL

В основі колірної моделі HLS лежить система Освальда. Ця модель утворює колірний простір у формі подвійного конуса (рис. 4). Колірний тон задається кутом повороту навколо вертикальної осі конусів. За початок відліку прийнято синій колір, а далі кольори розташовуються у спектральному порядку та замикаються пурпурним.

По вертикальній осі відкладається параметр L (освітленість), тоді як інші два параметри визначаються аналогічно до моделей HSV/HSB. Простір цієї моделі має

вигляд подвійного конуса, де чорний колір відповідає вершині нижнього конуса і має значення L=0, а білий колір максимальної інтенсивності відповідає вершині верхнього конуса і має значення L=1.

Найбільш насичені кольорові тони розташовані на рівні основи конуса при L=0,5, що є певним недоліком моделі з точки зору практичного використання. Відтінок H, як і в моделях HSV/HSB, задається кутом повороту. Насиченість S змінюється в межах від 0 до 1 і визначається відстанню від вертикальної осі L до бічної поверхні конуса. Таким чином, максимально насичені кольори знаходяться при L=0,5 і S=1.

Модель HLS добре пристосована для опису кольорів у спосіб, близький до людського сприйняття. Дійсно, людині простіше описувати колір через відтінок, освітленість і насиченість, що й реалізовано в цій моделі. Її важливою перевагою є інтуїтивна зрозумілість і простота використання в алгоритмах обробки зображень, оскільки вона базується на природному способі сприйняття кольору людиною, яка є одночасно розробником і користувачем таких систем.

6. Модель LAB. Модель LAB базується на особливостях людського сприйняття кольору. При однаковій інтенсивності око людини сприймає зелені промені як найбільш яскраві, червоні – дещо менш яскраві, а сині – як найменш яскраві. При цьому яскравість є характеристикою саме сприйняття, а не фізичною властивістю кольору. Під час створення моделі LAB метою було математично врахувати нелінійність людського сприйняття кольорів.

Цій моделі надають перевагу переважно професіонали, оскільки вона поєднує переваги як CMY, так і RGB: забезпечує доступ до всього спектра кольорів і водночас є достатньо ефективною з точки зору обробки. Водночас вона має незвичну структуру порівняно з іншими колірними моделями. Формування кольорів у ній, як і в RGB, базується на поєднанні трьох каналів.

Будь-який колір у моделі LAB задається параметром L (Lightness) – яскравістю, а також двома хроматичними координатами a і b. Параметр a

змінюється від зеленого до червоного через нейтральний сірий, а параметр b – від синього до жовтого через сірий. Параметр L контролює загальну яскравість кольору, утвореного компонентами a і b.

Білий колір відповідає максимальній яскравості. Значення L змінюється в межах від 0 до 100, а значення a і b – у діапазоні від −200 до 200. Якщо a і b дорівнюють нулю, то при зміні L отримується зображення у відтінках сірого (grayscale).

На відміну від колірних просторів RGB або CMYK, які фактично є апаратно залежними наборами даних для відтворення кольору на екрані або папері (і можуть змінюватися залежно від типу друкарської машини, якості фарб, вологості повітря чи налаштувань монітора), модель LAB визначає сам колір незалежно від пристрою.

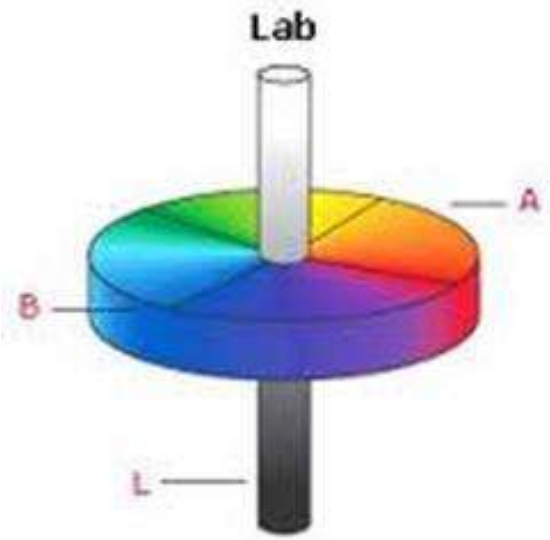


Рис. 5. Графічне представлення моделі LAB

Оскільки в моделі LAB яскравість повністю відокремлена від колірної інформації, це робить її зручною для корекції тонових характеристик зображення: підвищення контрасту, виправлення тонових спотворень, зменшення кольорового шуму, а також для обробки різких переходів і артефактів, наприклад у JPEG-зображеннях.

Завдяки своїм перевагам, зокрема великому колірному охопленню, модель LAB широко використовується у програмному забезпеченні для обробки зображень. Вона часто застосовується як проміжний простір під час конвертації між різними колірними моделями, наприклад при переході від RGB-даних зі сканера до CMYK-друку.

7.Модель XYZ. Протягом першої третини XX століття Міжнародна комісія з освітлення проводила дослідження фізіології людського зору, на основі яких у 1931 році була запропонована перцептивна колірна модель, що отримала назву XYZ.

Колірний простір моделі XYZ має вигляд криволінійного конуса з вершиною в початку координат колірної системи. У міру віддалення від цієї вершини яскравість кольорів у відповідних точках, що знаходяться всередині конуса, зростає.

Видима частина колірного простору в моделі XYZ (рис. 6) має форму сегмента неправильної параболи. На її криволінійній межі розташовані спектрально чисті кольори, а на прямолінійній хорді — кольори, отримані змішуванням червоного та пурпурного. При віддаленні від межі цієї фігури насиченість кольору поступово зменшується, і в центральній області знаходиться ахроматична точка.

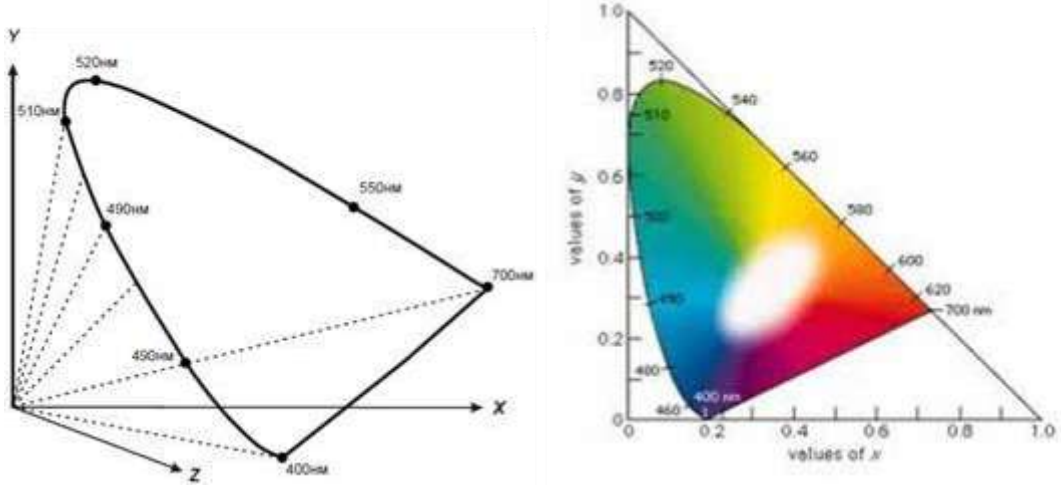


Рис. 6. Графічне представлення моделі XYZ

Висновки. Оскільки об’ємне представлення колірного простору у вигляді складного криволінійного конуса є незручним для практичного використання, у реальних задачах частіше застосовують нормалізовану форму моделі XYZ. У такому варіанті переходять до спрощеного опису кольору. Суть нормалізації полягає в тому, що повний тривимірний опис кольору зводиться до двовимірного подання. Для цього використовують відносні координати x і y, які відображають колірний тон і насиченість, тоді як третя координата z не враховується окремо, оскільки вона визначається через x і y.

Список використаних джерел

1. Biren. F.NewHorizonsinColor.// NewYork, 1961. - 59 с.
2. Рабкін Є.Б. Поліхроматичні таблиці, Київ, Наука, 2014. 48 с.
3. Alrefo I.F., Rawashdeh M.O., Matsulevych O.,Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
4. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082
5. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13

УДК 37.048:004

Дмитро Закатнов, кандидат педагогічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділом виховання і професійної кар'єри,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ТА КОНСУЛЬТУВАННЯ З КАР'ЄРИ

Анотація. Перехід на дистанційну й змішану форми навчання, зумовлений російською військовою агресією, потребує забезпечення закладів освіти сучасними комп'ютерними програмами профорієнтаційного спрямування, доступними не лише на шкільних комп'ютерах, а й для здійснення профорієнтаційної роботи та консультування з професійної кар'єри в дистанційній формі для усіх учнів, незалежно від місця їх перебування та локації закладу освіти. Сьогодні в Україні функціонує декілька порталів, які надають можливість в онлайн режимі надавати безкоштовні послуги з професійної консультації, професійної інформації, професійного підбору тощо. При цьому існує багаторічний зарубіжний позитивний досвід здійснення інформатизації професійної орієнтації та консультування з професійної кар'єри учнівської молоді, який може бути використаним у системі освіти України.

Ключові слова: професійна орієнтація, консультування з професійної кар'єри, здобувачі освіти, цифрові технології, інтерактивні методи.

Abstract. The transition to distance and mixed forms of education, caused by Russian military aggression, requires the provision of educational institutions with modern career guidance computer programs, available not only on school computers, but also for conducting career guidance work and professional career counseling remotely for all students, regardless of their place of stay and the location of the educational institution. Today, several portals operate in Ukraine, which provide the opportunity to provide free online services for professional consultation, professional information, professional selection, etc. At the same time, there is a long-term positive foreign experience of informatization of professional orientation and counseling on the professional career of schoolchildren, which can be used in the education system of Ukraine.

Keywords: vocational guidance, professional career guidance, education seekers, digital technologies, interactive methods.

Відновлення й подальша розбудова економіки України, яка зазнала значних

втрат внаслідок повномасштабною військовою агресією росії, ставить підвищені вимого щодо людського капіталу країни, під яким розуміється сукупність знань, умінь, навичок, компетентностей, досвіду, здоров'я, мотивації та інших якостей людини, які забезпечують її здатність до продуктивної праці й створення економічної та соціальної цінності [2]. За такого підходу професійна орієнтація та консультування з кар'єри розглядаються як механізми розвитку людського капіталу, оскільки можуть не лише сприяти вибору професії відповідно до наявних у людини здібностей та здатностей, але й її кар'єрну мобільність. Вирішення комплексу проблем, пов'язаних з професійною орієнтацією та консультування з кар'єри, передбачає використання комплексу інноваційних технологій, які можуть реалізовуватися, зокрема, шляхом їх цифровізації.

Прикладом послідовного переходу від паперових профорієнтаційних технологій до ІКТ є цифрова платформу O*NET (Occupational Information Network), створена у США. З 1939 р. у США видавався офіційний довідник професій Dictionary of Occupational Titles (DOT), розроблений Міністерством праці США. Він містив стандартизовані описи тисяч професій (трудові функції, вимоги до працівників, умови праці, професійні навички та кваліфікації та ін..) і використовувався службами зайнятості, роботодавцями, кар'єрними консультантами тощо. У 90-х рр. система DOT почала втрачати актуальність як через швидкі зміни ринку праці, так і розширення можливостей та доступності засобів обчислювальної техніки. Тому її замінила офіційно запущена у 1998 р. цифрова система O*NET (https://www.onetonline.org/), яка забезпечує інформаційну підтримку професійної орієнтації та кар'єрного консультування шляхом надання актуальних даних про професії, компетентності та потреби ринку праці.

Серед комплексу послуг, пов'язаних з ознайомленням вимог до людини, що ставляться певними професіями (здібності, знання, навички і т. ін.), на порталі розміщено й онлайн-тести, які дозволяє визначити сферу професійної діяльності, що відповідає інтересам та практичному досвіду особистості (O*NET Interest

Profiler, https://www.mynextmove.org/explore/ip). Їх побудовано на засадах теорії Джона Холанда [3] й вони дозволяє виявити, якому типу особистості й, як наслідок, професійного середовища, належить респондент. За результатами тестування формується перелік професій, які відповідають інтересам, досвіду та можливостям особи, що тестуються. Респондент має можливість в онлайн-режимі ознайомитися з описами професій, які є потенційно підходящими для нього (на порталі розміщено інформацію щодо понад 1000 актуальних професій). [1]. . Портал ONET є однією з найбільших цифрових систем професійної інформації у світі: за даними ONET Resource Center (https://www.onetcenter.org/overview.html?utm_source=chatgpt.com), O*NET OnLine щомісячно відвідують понад 2,3 млн користувачів, а вебсервіси системи обробляють понад 30 млн. запитів на місяць.

Онлайн консультування з професійної кар'єри здійснюється й у багатьох країнах Європи. У Великій Британії функціонує портал National Careers Service (https://nationalcareers.service.gov.uk/), який надає послуги онлайн консультування стосовно вибору майбутньої професії (https://nationalcareers.service.gov.uk/discover-your-skills-and-careers/assessment/short/1), а також надає розгорнуту інформацію щодо професій, зокрема – попиту на них. Крім загальнодержавного також функціонують відповідні портали у Шотландії, Уельсі, Північної Ірландії. Різноманітні онлайн послуги стосовно професійної орієнтації та розвитку кар'єри надаються в Австрії. Наприклад, онлайн тестування на порталі «Talente Check» (https://www.wko.at/ooe/bildung-lehre/talente-check) дозволяє виявити схильності до підприємницької та технічної (інженерної і т. ін.) діяльності (https://www.wko.at/ooe/bildung-lehre/talente-check). Міністерство освіти і науки Естонії запустило новий портал (https://haridusportaal.edu.ee/), який стане основним порталом для інформації про освіту та ринок праці та з питань розвитку кар'єри й на якому розміщено практичну веб-сторінку для планування кар'єри (https://haridusportaal.edu.ee/artiklid/karj%C3%A4%C3%A4ri-kujundamine). У Туреччині існує низка порталів з консультування з професійної кар'єри, наприклад,

портал «Моя кар'єра та моє життя», призначений для надання молоді допомоги стосовно набуття професійно-технічної освіти. Цей портал також надає інформацію про професійну освіту за кордоном, навчання слухачів, можливості кар'єрного росту, методи співбесіди, професії майбутнього та огляд розвитку професійної освіти в Туреччині (https://meslegimhayatim.meb.gov.tr/).

Список використаних джерел

1. Закатнов Д. Інформатизація професійної орієнтації та консультування з професійної кар'єри учнівської молоді: вітчизняні та зарубіжні практики. *Профільна середня освіта: виклики і шляхи реалізації.* 2024. С.163-168. https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/740089/ (дата звернення 05.05.2026).
2. Своробович Л.М. Роль людського капіталу в розвитку територіальних соціально-економічних систем. *Вісник соціально-економічних досліджень*, № 3 (67), 2018. С. 184-198.
3. Holland J. L. Making Vocational Choices: A Theory of Vocational Personalities and Work Environments. 3rd ed. Odessa, FL : Psychological Assessment Resources, 1997. 303 p.

УДК [005.32:378.1]:004

Елла Кожевнікова, кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри педагогіки і педагогічної майстерності,
Бердянський державний педагогічний університет,
м. Запоріжжя, Україна
Тетяна Несторенко, кандидат економічних наук, доцент,
Сілезька академія, м. Катовіце, Польща,
Бердянський державний педагогічний університет,
м. Запоріжжя, Україна

МЕНЕДЖМЕНТ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ В ЗАКЛАДАХ МИСТЕЦЬКОЇ ОСВІТИ В ЕПОХУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Анотація. У дослідженні проаналізовано проблему трансформації системи управління персоналом у закладах вищої мистецької освіти в умовах діджиталізації та бюджетних обмежень. На основі емпіричних даних аналізу КЗВО «Дніпровська академія музики» обґрунтовано необхідність реінжинірингу системи стимулювання працівників через впровадження Електронного атестаційного порталу та використання KPI-мотивації на базі спеціального фонду.

Ключові слова: менеджмент персоналу, професійний розвиток, мотивація, діджиталізація, KPI, спеціальний фонд, мистецька освіта

Abstract. The research analyses the problem of human resource management transformation in higher art education institutions under digitalization and budget constraints. Based on empirical data of the Municipal Higher Education Institution "Dniprovska Academy of Music", the necessity of reengineering the staff incentive system through the introduction of an Electronic Attestation Portal and the use of KPI motivation based on a special fund is substantiated.

Keywords: personnel management, professional development, motivation, digitalization, KPI, special fund, art education

В умовах глобальної трансформації сучасного освітнього простору, масштабного розвитку інформаційного суспільства та дедалі жорсткіших бюджетних обмежень, класичні адміністративно-командні моделі управління персоналом стрімко втрачають свою дієвість і вже не можуть забезпечити належної ефективності функціонування закладів вищої освіти. На зміну традиційним підходам, орієнтованим на жорсткий контроль і формальне виконання обов’язків,

приходить концепція стратегічного та людиноцентрованого менеджменту [5]. Особливої актуальності, гостроти та практичної значущості це питання набуває в сучасних закладах вищої мистецької освіти. Специфіка таких установ полягає в тому, що педагог тут є не просто ретранслятором теоретичних знань, а поєднує в собі унікальну триєдину роль: висококваліфікованого вчителя-наставника, глибокого науковця-дослідника та креативного митця-практика. Саме таке специфічне та багатогранне поєднання професійних характеристик вимагає від керівництва кардинального перегляду управлінських парадигм. Це зумовлює гостру потребу у впровадженні інноваційних, адаптивних і гнучких управлінських рішень, а також у рішучому відході від застарілого бюрократичного контролю, який лише стримує творчий потенціал академічних кадрів і призводить до значних часових втрат [3; 4]. Окрім цього, динамічні виклики сьогодення вимагають обов'язкового врахування сучасних моделей антикризового менеджменту, диверсифікації джерел фінансування, а також системного управління стратегічними змінами в академічному середовищі для забезпечення стійкого професійного розвитку кожного члена колективу.

Емпіричне дослідження системи менеджменту, проведене на прикладі КЗВО «Дніпровська академія музики», дозволило виявити низку суттєвих організаційно-економічних бар'єрів, які штучно гальмують професійний розвиток творчого колективу. По-перше, зафіксовано критичний рівень бюрократизації рутинних процесів. Процедури підвищення кваліфікації педагогічних кадрів чітко регламентуються нормативно-правовими актами [2], проте відсутність автоматизації призводить до значних часових втрат. Зокрема, за два роки ручна обробка понад 1400 паперових сертифікатів методичною службою академії спричинила непродуктивні витрати щонайменше 350 годин робочого часу викладачів та адміністративного корпусу. По-друге, спостерігається гострий дефіцит інструментів матеріального стимулювання інновацій. Фінансовий аудит установи довів, що 83,8% загального бюджету безальтернативно поглинаються

базовими захищеними статтями (оплата праці з нарахуваннями), що звужує можливості фінансового маневрування, особливо в умовах роботи закладів у кризових регіонах [3]. По-третє, через брак дієвих стимулів загальний індекс мотивації персоналу знаходиться на посередньому рівні та становить 3,0 бала з 5 можливих, а рівень задоволеності матеріальною винагородою оцінюється у критичні 2,7 бала. Це вимагає перегляду засад класичної теорії мотивації в контексті практичної діяльності закладу [1].

Для подолання виявлених управлінських бар'єрів пропонується реінжиніринг системи стимулювання на основі діджиталізації [5] та диверсифікації джерел фінансування. Перший вектор передбачає впровадження внутрішнього Електронного атестаційного порталу з модулем автоматичного скорингу. Переведення процедури підтвердження професійних досягнень у цифрове середовище дозволяє повністю ліквідувати паперовий документообіг та вивільнити до 30% часу викладачів, який доцільно реінвестувати у творчу та наукову діяльність. Другий вектор полягає у впровадженні матриці компетентнісних бонусів (KPI) за рахунок ефективного використання потенціалу спеціального фонду (наприклад, надходжень від оренди майна, які у 2025 році заплановано на рівні понад 485 тис. грн). Спрямування частини цих коштів на цільове преміювання за чіткими критеріями (публікації у Scopus/WoS, сольні концертні проєкти, авторські курси) формує пряму залежність між зусиллями викладача та його винагородою, що відповідає теорії очікувань [1]. З метою задоволення потреб вищого порядку матеріальна база має доповнюватись інструментами нематеріального визнання (індивідуальний «Педагогічний портфель» для розширення академічної автономії викладача та статусні номінації).

Таким чином, сучасна еволюція менеджменту в мистецькому закладі вимагає рішучого переходу від формального, суто лінійного адміністрування до гнучкого стратегічного управління успіхом співробітників за допомогою послідовних кроків впровадження системних змін [4]. Комплексне та інтегроване застосування

сучасних цифрових технологій і прозорої KPI-мотивації надійно забезпечить прогнозоване зростання загального індексу лояльності колективу до цільового рівня 4,0–4,2 бала, суттєво оптимізуючи та вивільняючи при цьому цінні часові й обмежені фінансові ресурси закладу вищої освіти для його подальшого творчого розвитку.

Список використаних джерел

1. Врум В. Г. Мотивація та діяльність. Київ : Наукова думка, 2018. 312 с.
2. Деякі питання підвищення кваліфікації педагогічних і науково-педагогічних працівників : Постанова Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 800. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/800-2019-п (дата звернення 08.05.2026)
3. Azhazha M., Peliova J., Nestorenko T., Kaplunovska A., & Kravchyk Y. Peculiarities of the Universities' Management Located on Frontline Territories. *Development Service Industry Management*. 2024. V. 2. P. 132–139. https://doi.org/10.31891/dsim-2024-6(20)
4. Nestorenko T., Kravchyk Y., Nestorenko O., Koinash M. Applying Kotter's 8 Step Model of Change in the Displaced University's Management. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences*. 2025. V. 344 (4). P. 56-62. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-344-4-7
5. Ostenda A., Nestorenko T. (eds.). Digitalization and information society. Selected issues. Series of monographs. Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts. University of Technology. 2022. https://doi.org/10.54264/M008

УДК 004.738.5:004.056.5:37.018.43

Олег Балабан, директор, Заклад позашкільної освіти
Палац дітей та молоді Бердянської міської ради
Запорізької області, м. Запоріжжя, Україна
Альона Дяденчук, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики і фізики,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЦИФРОВА БЕЗПЕКА ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЯК СКЛАДОВА РОЗВИТКУ ЦИФРОВОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА: РЕЗУЛЬТАТИ ОПИТУВАННЯ

Анотація. Дослідження присвячене аналізу рівня обізнаності здобувачів освіти щодо кібербулінгу та цифрових ризиків, їхнього реального досвіду небезпечних ситуацій в інтернеті та застосування практик цифрової безпеки. На основі анонімного опитування учнів старшого шкільного віку виявлено найпоширеніші форми онлайн-загроз, рівень готовності до взаємодопомоги та ключові прогалини у цифровій грамотності. Отримані результати підкреслюють необхідність системної профілактичної роботи та формування культури безпечної поведінки в цифровому освітньому середовищі.

Ключові слова: цифрова безпека, кібербулінг, онлайн-ризики, цифрова грамотність.

Abstract. A study of a special analysis of the level of awareness of education seekers about cyberbullying and digital risks, their real-life experience of dangerous situations on the Internet and the application of practical digital safety. Based on an anonymous survey of high school students, the most common forms of online threats, the level of readiness for mutual assistance and key gaps in digital literacy were identified. The results obtained emphasize the need for systematic preventive work and the formation of a culture of safe behavior in the digital educational environment.

Keywords: digital security, cyberbullying, online risks, digital literacy.

Цифровізація освітнього середовища створює нові можливості для навчання, комунікації та самореалізації, проте водночас підсилює ризики, пов’язані з кібербулінгом, порушенням приватності та зловживаннями в онлайн-просторі [1]. Особливо вразливою групою є здобувачі освіти, які активно використовують

цифрові платформи, але не завжди володіють достатнім рівнем цифрової грамотності та навичками безпечної поведінки. Саме тому дослідження реального досвіду учнів, їхніх уявлень про небезпеки та готовності до протидії є важливим елементом формування ефективної системи цифрової безпеки в закладах освіти.

Метою дослідження було визначення рівня обізнаності здобувачів освіти щодо кібербулінгу та цифрових ризиків, виявлення найпоширеніших небезпечних ситуацій, оцінка практики цифрової безпеки та з'ясування готовності вихованців підтримувати одне одного у випадку онлайн-небезпеки.

Для досягнення поставленої мети було проведено анонімне опитування здобувачів освіти віком від 12 до 20 років серед здобувачів освіти закладів освіти Бердянської міської територіальної громади (заклади загальної середньої та позашкільної освіти) за допомогою анкети «Цифрова безпека – наша спільна справа». Анонімність дозволила отримати відверті відповіді та забезпечила достовірність зібраних даних.

Попередній аналіз відповідей показав, що значна частина здобувачів освіти декларує знання про кібербулінг і цифрові загрози, проте рівень розуміння часто є поверхневим або фрагментарним. Частина респондентів обирала варіант «частково», що свідчить про потребу в систематичному навчанні та поясненні механізмів онлайн-ризиків. Серед дій, які здобувачі освіти вважають небезпечними, найчастіше згадуються поширення фото чи відео без дозволу (88,6 %), злом акаунтів (87,6 %), публікація особистої інформації (83,8 %), вимагання паролів чи особистих даних (82,9 %) тощо. Такий спектр відповідей демонструє, що учні стикаються не лише з класичними проявами кібербулінгу, а й з ширшим колом цифрових загроз, пов'язаних із шахрайством, маніпуляціями та порушенням приватності.

Важливим результатом є те, що значна частина респондентів повідомила про власний досвід небезпечних ситуацій в інтернеті. Серед найпоширеніших форм – спроби зламу акаунтів (62,0 %), отримання фішингових листів (55,7 %), образливих

повідомлень (40,5 %) тощо. Крім того, багато респондентів зазначили, що подібні ситуації траплялися і з їхніми друзями, що підтверджує поширеність проблеми на рівні учнівських колективів. Цікавим є блок відповідей щодо готовності допомогти другу, який став жертвою кібербулінгу. Хоча значна частина респондентів висловила готовність підтримати однолітка, інші (15,2 %) зазначили, що не знають, як діяти, бояться втручатися або не впевнені в ефективності своїх дій. Дані результати свідчать про потребу у формуванні культури взаємодопомоги та розвитку алгоритмів безпечного реагування, які можуть бути впроваджені на рівні закладу освіти.

Окрему увагу приділено аналізу цифрових навичок та правил безпеки, яких дотримуються здобувачі освіти. Частина учнів використовує складні паролі, двофакторну автентифікацію, уникає підозрілих посилань, обмежує доступ до своїх сторінок, блокує порушників та перевіряє налаштування приватності. Водночас деяка частина респондентів (9 %) зазначила, що не знає, як це робити, що вказує на прогалини у цифровій грамотності та потребу в практичних тренінгах.

Отримані результати дозволяють зробити кілька важливих висновків:

- здобувачі освіти добре усвідомлюють наявність цифрових ризиків, але не завжди володіють достатніми навичками їхнього запобігання;
- значна частина учнів має реальний досвід кібербулінгу або інших небезпечних ситуацій, що потребує посилення профілактичної роботи;
- існує потреба у формуванні чітких алгоритмів дій у випадку онлайн-небезпеки та розвитку культури підтримки серед однолітків.

Таким чином, результати опитування демонструють актуальність проблеми цифрової безпеки та необхідність комплексного підходу до її вирішення. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на порівняння різних вікових груп, аналіз ефективності освітніх інтервенцій, вивчення психологічних чинників онлайн-поведінки та розробку моделей цифрової компетентності для учнів.

Список використаних джерел

1. Швардак М. Кібербезпека у цифровому освітньому просторі. *Науковий журнал Хортицької національної академії*. 2025. №. 1 (12). С. 26-33.

УДК 37.018.43:004

Світлана Дзюбенко, викладач вищої категорії,
викладач-методист,
Таращанський технічний та економіко-правовий
фаховий коледж, м. Тараща, Україна

ГЕЙМІФІКАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ: ЯК ЗАЛУЧИТИ СУЧАСНОГО ЗДОБУВАЧА ОСВІТИ

Анотація. У доповіді розглядається гейміфікація як інноваційний підхід до організації освітнього процесу в умовах цифрової трансформації. Проаналізовано сутність гейміфікації, її ключові елементи та механізми впливу на мотивацію здобувачів освіти. Окреслено переваги та ризики впровадження ігрових технологій у навчання, а також наведено приклади ефективного використання гейміфікації в українських і міжнародних освітніх практиках. Особливу увагу приділено ролі цифрових інструментів у підвищенні залученості здобувачів освіти та формуванні їхніх компетентностей.

Ключові слова: гейміфікація, цифрова освіта, мотивація, освітні технології, інтерактивне навчання.

Abstract. The report examines gamification as an innovative approach to organizing the educational process in the context of digital transformation. The essence of gamification, its key elements, and mechanisms influencing student motivation are analyzed. The advantages and risks of implementing game-based technologies in education are outlined, along with examples of effective use in Ukrainian and international practices. Special attention is paid to the role of digital tools in increasing student engagement and developing competencies.

Keywords: gamification, digital education, motivation, educational technologies, interactive learning.

Вступ. Сучасний освітній простір переживає глибокі трансформації, пов’язані з розвитком цифрових технологій та зміною підходів до навчання. Традиційні методи викладання дедалі частіше виявляються недостатньо ефективними для утримання уваги сучасних здобувачів освіти, які зростають у цифровому середовищі. У цьому контексті гейміфікація постає як один із перспективних інструментів підвищення мотивації та активності здобувачів освіти [1].

Гейміфікація — це використання ігрових елементів (балів, рівнів, нагород, рейтингів) у неігрових контекстах, зокрема в освіті. Її основною метою є стимулювання інтересу до навчання, підвищення залученості та формування позитивного досвіду взаємодії з освітнім контентом.

Сутність та основні елементи гейміфікації. Гейміфікація освітнього процесу є складним міждисциплінарним явищем, що перебуває на перетині педагогіки, психології, дизайну та цифрових технологій. У науковому дискурсі поняття «гейміфікація» трактується як використання елементів ігрового дизайну та механік у неігрових контекстах з метою підвищення мотивації, залученості та ефективності діяльності [2]. Одне з найпоширеніших визначень було запропоновано Sebastian Deterding, який розглядав гейміфікацію як інтеграцію окремих елементів гри (game elements), а не створення повноцінних ігор.

У контексті освіти гейміфікація виступає інструментом трансформації традиційного навчального середовища у більш інтерактивне, адаптивне та орієнтоване на здобувача освіти. Вона не замінює зміст навчання, а змінює форму його подання та взаємодії з ним.

Структурні компоненти гейміфікації. Сутність гейміфікації доцільно розглядати через систему її базових компонентів, які умовно поділяються на три рівні:

1. Динаміки (dynamics) – найвищий рівень, що визначає загальну логіку взаємодії: емоційне залучення; відчуття прогресу та досягнення; соціальна взаємодія (співпраця або конкуренція); наратив (сюжетність навчання).

2. Механіки (mechanics) – способи реалізації динамік: виклики та завдання різної складності; система винагород; зворотний зв’язок; обмеження часу; накопичення ресурсів.

3. Компоненти (components) – конкретні інструменти:бали (points); рівні (levels); бейджі (badges); таблиці лідерів (leaderboards); віртуальні нагороди.

Ця трирівнева модель дозволяє системно проєктувати гейміфіковані освітні середовища.

Гейміфікація базується на застосуванні елементів гри в освітньому процесі. До ключових компонентів належать:

- бали та рейтинги – стимулюють змагальність і досягнення результатів;
- рівні та прогрес – демонструють розвиток здобувача освіти;
- нагороди та бейджі – підсилюють внутрішню мотивацію;
- сюжет і сценарій – створюють контекст для навчання;
- зворотний зв’язок – забезпечує миттєву оцінку дій.

Застосування цих елементів дозволяє зробити освітній процес більш інтерактивним і привабливим.

Психолого-педагогічні основи гейміфікації. Гейміфікація ґрунтується на теоріях мотивації, зокрема на концепції внутрішньої та зовнішньої мотивації. Ігрові механіки активізують інтерес, викликають емоційне залучення та сприяють формуванню позитивного ставлення до навчання.

Особливу роль відіграє теорія самодетермінації, яка підкреслює важливість трьох базових потреб: автономії, компетентності та соціальної взаємодії. Гейміфікація здатна задовольнити ці потреби через свободу вибору, поступове ускладнення завдань і командну роботу [3].

Практичне застосування гейміфікації. У сучасній освіті активно використовуються цифрові інструменти для реалізації гейміфікації. Серед них:

- інтерактивні платформи для тестування;
- освітні ігри та симуляції;
- системи управління навчанням із вбудованими гейміфікованими елементами.

Гейміфікація може застосовуватися як у шкільній, так і у вищій освіті, а також у неформальному навчанні. Наприклад, використання вікторин, квестів,

рольових ігор дозволяє активізувати навчальну діяльність і підвищити рівень засвоєння матеріалу.

Важливо розрізняти гейміфікацію та ігрове навчання (game-based learning). Якщо гейміфікація передбачає використання окремих елементів гри, то ігрове навчання базується на використанні повноцінних освітніх ігор.

Гейміфікація:

- інтегрується в існуючий освітній процес;
- не потребує створення повноцінної гри;
- є більш гнучкою та доступною для впровадження.

Переваги гейміфікації. Використання гейміфікації в освітньому процесі має низку переваг:

- підвищення мотивації та залученості здобувачів освіти;
- розвиток критичного мислення та креативності;
- формування навичок співпраці;
- покращення засвоєння навчального матеріалу;
- індивідуалізація навчання.

Проблеми та виклики. Попри значний потенціал гейміфікації як інструменту підвищення мотивації та залученості здобувачів освіти, її впровадження супроводжується низкою суттєвих проблем і викликів. Зокрема: ризик зосередження на зовнішніх винагородах замість змісту навчання; потреба у значних ресурсах для розробки якісного контенту; недостатній рівень цифрової компетентності викладачів; можливість перевантаження здобувачів освіти. Їх доцільно розглядати у педагогічному, психологічному, технологічному та організаційному вимірах [4].

Таким чином, гейміфікація освітнього процесу, попри свої очевидні переваги, потребує виваженого та науково обґрунтованого підходу до впровадження. Її ефективність залежить від балансу між ігровими елементами та

освітнім змістом, рівня підготовки педагогів, технічних можливостей і врахування індивідуальних особливостей здобувачів освіти.

Лише комплексне вирішення зазначених проблем дозволить максимально реалізувати потенціал гейміфікації в умовах цифрової трансформації освіти.

Перспективи розвитку. Гейміфікація має значний потенціал для подальшого розвитку в умовах цифровізації освіти. Поєднання ігрових технологій із штучним інтелектом, аналітикою даних та адаптивними системами навчання відкриває нові можливості для персоналізації освітнього процесу [5].

У майбутньому гейміфікація може стати невід'ємною складовою освітніх платформ, сприяючи формуванню мотивації до навчання протягом життя.

Висновки. Гейміфікація є ефективним інструментом модернізації освітнього процесу, який відповідає потребам сучасного здобувача освіти. Її впровадження сприяє підвищенню мотивації, активізації навчальної діяльності, стійкий інтерес до навчання та формуванню ключових компетентностей. Вона є ефективним інструментом модернізації освіти, здатним відповідати викликам цифрової епохи та потребам сучасного здобувача освіти.

Разом із тим, для досягнення максимального ефекту необхідно забезпечити педагогічно обґрунтоване використання гейміфікації, враховуючи індивідуальні особливості здобувачів освіти та специфіку навчального середовища.

Список використаних джерел

1. Інститут цифровізації освіти НАПН України. Аналітичні матеріали щодо розвитку цифрової освіти в Україні. Київ, 2022.
2. Міністерство освіти і науки України. Концепція розвитку цифрових компетентностей. Київ, 2021.
3. Український інститут розвитку освіти. Цифрові інструменти для організації дистанційного навчання. Київ, 2022.
4. Воротникова Ірина. Цифровізація освіти: виклики та перспективи розвитку в Україні. *Педагогічні науки.* 2021.
5. Кузьмінська Оксана. Гейміфікація навчання: сучасні підходи та інструменти. *Вісник післядипломної освіти*. 2020.

УДК 37.018.43:004.8

Іван Голуб**,** науковий співробітник
відділу цифрових освітніх ресурсів,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

Анотація. Проаналізовано впровадження технологій штучного інтелекту в професійну освіту в умовах цифрової трансформації, зокрема перехід до автономних ШІ-систем та їх вплив на освітній процес. Обґрунтовано необхідність системного й науково виваженого підходу, акцентовано роль ШІ у розвитку мислення здобувачів, персоналізації навчання та підвищенні ефективності освітніх практик за збереження ключової ролі викладача. Визначено основні виклики та перспективи, зокрема потребу у стандартах, методичних і безпекових рамках, а також підготовці педагогів до роботи з ШІ.

Ключові слова: штучний інтелект, професійна освіта, цифрова трансформація, персоналізоване навчання, інтеграція ші в освіті.

Abstract. The article analyzes the implementation of artificial intelligence technologies in vocational education within the context of digital transformation, particularly the shift toward autonomous AI systems and their impact on the educational process. It substantiates the need for a systematic and scientifically grounded approach, emphasizing the role of AI in developing learners' thinking, personalizing education, and enhancing the effectiveness of educational practices while preserving the key role of the teacher. The main challenges and prospects are identified, including the need for standards, methodological and safety frameworks, as well as teacher training for working with AI.

Keywords: artificial intelligence, vocational education, digital transformation, personalized learning, ai integration in education.

Як зрозуміти, що знову прийшов той час коли технології вплинули на наше життя розділивши його на «до» та «після» (мається на увазі «застосування цієї технології»)? Давайте спробуємо розібратись в цьому за допомоги наукового дослідження і практичного досвіду представленому в доповіді професора Миколи Пригодія «Науково-методичне забезпечення впровадження штучного інтелекту у систему професійної освіти» на загальних зборах НАПН України присвячених темі

«Цифрова трансформація освіти: штучний інтелект в сучасному освітньому просторі» 21 листопада 2025 року.

Листопад 2025 року, пройшло лише пів року з дня публікації доповіді, а в світі вже за цей час відбулись значні досягнення в розвитку штучного інтелекту (ШІ): ШІ перейшов від генеративних чат-ботів до автономних агентів (Agentic AI); компанії інтегрують ШІ в свою діяльність, іноді замінюючи робітників з клієнтської підтримки на чат-боти, створення "AI-Native" департаментів; законодавче поле навколо ШІ вибудовує для нього більш жорсткі межі за допомогою інституцій Європейського Союзу (EU AI Act, 2026); масштабування ШІ виявило обмеження хмарної архітектури і з’явився тренд на «Cloud 3.0» - диверсифікована екосистема, яка поєднує приватні, гібридні та суверенні хмари;

Обґрунтовуючи цілісний й педагогічно виважений підхід до впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ), цифрових платформ та персоналізованих освітніх траєкторій у процес професійної підготовки Микола Пригодій вважає за потрібне спрямувати на те, щоб цифровізація професійної освіти в Україні стала системним, керованим і науково обґрунтованим процесом, яка буде відповідати сучасним психолого-педагогічним закономірностям. З цим важко не погодитись.

Загальними і на нашу думку важливими акцентами в його доповіді є пояснення впливу трансформації мислення здобувачів. Коли сучасний студент професійної освіти формується в гіперстимульованому цифровому середовищі і сталі методики навчання втрачають свою ефективність. Також зміна освітніх пріоритетів коли ШІ допомагає розвитку критичного, креативного, алгоритмічного та системного мислення, а не звичайне накопичення знань. Привертає увагу й обґрунтування ефективності інструментів ШІ завдяки яким використання адаптивних траєкторій, AI-аналітики, автоматизованого оцінювання та персоналізованого супроводу суттєво підвищують якість навчання, зміцняючи компетентності, підвищуючи мотивацію та забезпечуючи справедливе оцінювання. Освітній процес не можливий без участі викладача, роль якого, ми вважаємо,

направити бажання студента до самоосвіти правильно інтегрувати ШІ в цей процес. І в цьому ми солідарні з Миколою Пригодієм, , який каже: «… використання штучного інтелекту не замінює дослідника чи викладача, а надає їм інструменти для підвищення продуктивності та поглиблення».

Можливо також і практичне застосування ШІ науковцями для аналітики даних, складання бібліографій, генерації дидактичних матеріалів, перекладацької моделі, чат-ботів та інтелектуальної системи оцінювання. Микола Пригодій викреслив і ключові виклики, які завдяки підтримки державної політики можуть мати вирішення. Такі як: дотримання академічної доброчесності, подолання цифрової нерівності, захист персональних даних, брак україномовних цифрових ресурсів та необхідність підготовки педагогів до роботи з новітніми технологіями.

Методологія його дослідженні базується на компетентнісному підході та узагальненні результатів комплексної науково-методичної роботи Інституту професійної освіти НАПН України, яка включає: Аналіз результатів емпіричних даних, зібраних під час виконання прикладної наукової теми (2024 - 2025 рр.) щодо проєктування й застосування цифрових платформ для підготовки робітників машинобудівної галузі; Апробацію теоретичних положень у межах підготовки інформаційно-аналітичних матеріалів до Загальних зборів НАПН України (проведених 21 листопада 2025 р.); Проєктування майбутнього прикладного дослідження (на 2026 – 2027 рр.), яке має стати першим в Україні системним дослідженням з класифікації технологій ШІ для професійної освіти та оцінювання ефективності їхньої інтеграції на прикладі автотранспортної галузі.

Ми бачимо, що час, який змінює технології використання штучного інтелекту вже прийшов і надає нам нові можливості для розвитку освіти і науки. Звичайно все ще залишається кілька не розкритих питань, які ще не мають достатнього вирішення й потребують першочергових досліджень:

1. Відсутність психолого-педагогічних стандартів в сфері ШІ.

2. Відсутність методичної бази та безпекових рамок з використання та впровадження ШІ в освітній процес.

3. Непідготовленість кадрів до використання ШІ.

Інтеграція технологій штучного інтелекту в професійну освіту відкриває нові перспективи для підвищення якості навчання студентів, розвитку їх ключових компетентностей та формування індивідуальних освітніх траєкторій. Системний і науково обґрунтований підхід до впровадження ШІ сприяє ефективній трансформації сучасного освітнього середовища. Подальший розвиток цієї сфери створює підґрунтя для інноваційного зростання освіти і науки, забезпечуючи їхню конкурентоспроможність у глобальному цифровому просторі.

Список використаних джерел

1. Пригодій М. А. Науково-методичне забезпечення впровадження штучного інтелекту у систему професійної освіти. *Вісник НАПН України*. 2025. Т. 7(2). С. 1–5. https://doi.org/10.37472/v.naes.2025.7226

2. Greeven M., Parra Moyano J., Wade M. R., Joshi A., Shan J., Bonnet D., & Hooijberg R. (2025, December 26). 2026 AI trends: What leaders need to know to stay competitive. IMD Business School. https://www.imd.org/ibyimd/artificial-intelligence/2026-ai-trends-what-leaders-need-to-know-to-stay-competitive/ (дата звернення 12.05.2026).

УДК 377:004.9:37.091.33

Оксана Томчук, викладач професійної підготовки,
Вище професійне училище №25 м. Хмельницького,
м. Хмельницький, Україна

СТВОРЕННЯ ОСВІТНЬОГО ЦИФРОВОГО КОНТЕНТУ У ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

Анотація. У статті розглянуто особливості створення та використання освітнього цифрового контенту в закладах професійної освіти. Проаналізовано дидактичний потенціал цифрових освітніх ресурсів, сучасні інтерактивні платформи, SMART-комплекси та інтелектуальні онлайн-інструменти як складову цифровізації освітнього процесу. Визначено роль мультимедійних технологій, мобільного навчання, QR-кодів, сервісу NotebookLM у підвищенні ефективності професійної підготовки здобувачів освіти.

Ключові слова: цифровий контент, професійна освіта, цифрові технології, SMART-комплекси, інтерактивне навчання, мультимедійні технології.

Abstract. The article examines the features of creating and using educational digital content in vocational education institutions. The didactic potential of digital educational resources, modern interactive platforms, SMART complexes, and intelligent online tools as components of the digitalization of the educational process is analyzed. The role of multimedia technologies, mobile learning, QR codes, the NotebookLM service in improving the effectiveness of vocational training for learners is determined.

Keywords: digital content, vocational education, digital technologies, SMART complexes, interactive learning, multimedia technologies.

Сучасний розвиток цифрових технологій суттєво впливає на систему професійної освіти та вимагає оновлення підходів до організації освітнього процесу. Традиційні методи навчання вже не повною мірою відповідають вимогам сучасного ринку праці, оскільки професійна діяльність дедалі більше пов’язана з використанням цифрових інструментів, автоматизованих систем та електронних ресурсів. У зв’язку з цим особливого значення набуває створення якісного цифрового освітнього контенту, який забезпечує поєднання теоретичної та практичної підготовки, підвищує мотивацію студентів і сприяє формуванню професійних та цифрових компетентностей.

Проблеми цифровізації освіти, створення цифрових освітніх ресурсів та впровадження SMART-комплексів активно досліджуються українськими науковцями.

В. О. Радкевич досліджує SMART-комплекси як інформаційно-динамічні системи електронних освітніх ресурсів та обґрунтовує їх структуру і функціональні компоненти [3]. К. Довгополик та І. Смирнова аналізують можливості використання SMART-комплексів у професійній підготовці сучасного вчителя та наголошують на їх відповідності сучасним вимогам цифрової освіти [2]. І. В. Андрощук та І. П. Андрощук розглядають SMART-комплекси як ефективний засіб підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій, акцентуючи увагу на можливостях мультимедійного навчання, інтерактивної взаємодії та персоналізації освітнього процесу [1].

Сучасні дослідження також акцентують увагу на використанні інтелектуальних онлайн-інструментів на основі штучного інтелекту, які сприяють автоматизації створення освітніх матеріалів, персоналізації навчання та розвитку цифрових компетентностей педагогів і студентів.

Метою дослідження є аналіз особливостей створення освітнього цифрового контенту у закладах професійної освіти та визначення ефективних цифрових інструментів для організації сучасного освітнього процесу.

Освітній цифровий контент охоплює різноманітні електронні ресурси: електронні підручники, відеоуроки, інтерактивні вправи, онлайн-курси, презентації, симулятори та віртуальні лабораторії. На відміну від традиційних друкованих матеріалів, цифрові ресурси забезпечують інтерактивну взаємодію, мультимедійність та адаптацію навчання до індивідуальних потреб здобувачів освіти. У професійній освіті цифровий контент є особливо важливим, оскільки дозволяє моделювати реальні виробничі процеси та професійні ситуації.

Цифрові освітні ресурси сприяють підвищенню ефективності професійної підготовки завдяки індивідуалізації навчання, використанню мультимедійних

матеріалів та інтерактивних технологій. Застосування гейміфікації, онлайн-комунікації та інтерактивних вправ позитивно впливає на мотивацію студентів і підвищує рівень їх залучення до освітнього процесу. Використання цифрових технологій також сприяє розвитку критичного мислення, самостійності та цифрової грамотності, що є важливими складовими професійної компетентності сучасного фахівця.

Цифровий освітній ресурс доцільно розглядати як комплексну дидактичну систему, побудовану на основі сучасних інформаційних технологій. Його перевагами є інтерактивність, можливість оперативного зворотного зв’язку та адаптація до індивідуального темпу навчання здобувача освіти. Особливо ефективним у професійній освіті є використання блочної структури подання матеріалу, що дозволяє реалізовувати принципи мікронавчання та полегшує засвоєння складної технічної інформації.

Серед основних дидактичних функцій цифрового освітнього ресурсу можна виокремити інформаційну, мотиваційну, тренувальну та контролюючу. Інформаційна функція реалізується через використання мультимедійних матеріалів – відео, анімації, 3D-моделей та інфографіки. Мотиваційна функція забезпечується завдяки використанню інтерактивних вправ, квестів і гейміфікації. Тренувальна функція реалізується через віртуальні симулятори та тренажери, які дозволяють безпечно відпрацьовувати професійні навички. Контролююча функція полягає у використанні автоматизованих тестів та систем швидкого оцінювання знань.

Для сучасної молоді, яка звикла до швидкого сприйняття інформації через цифрові пристрої, важливе значення має візуалізація навчального матеріалу. Саме тому під час створення цифрового контенту доцільно використовувати короткі відеофрагменти, інфографіку, схеми, інтерактивні елементи та мультимедійні презентації. Це дозволяє уникати перевантаження великими текстовими блоками та підвищує ефективність засвоєння матеріалу.

Практична реалізація цифровізації професійної освіти передбачає активне використання сучасних інтерактивних платформ та сервісів. Для створення тестів, вправ та навчальних ігор широко використовуються LearningApps, Wordwall, Kahoot! і Quizizz. Ці платформи дозволяють урізноманітнити освітній процес, підвищити активність студентів та забезпечити оперативний контроль знань. Для створення інтерактивних презентацій, плакатів та інфографіки використовуються Canva, Genially, Nearpod і Powtoon. Такі сервіси сприяють підвищенню рівня візуалізації навчального матеріалу та забезпечують інтерактивну взаємодію під час занять.

Для створення інтерактивних робочих аркушів та електронних посібників використовуються платформи Liveworksheets, Wizer.me та Book Creator. Вони дозволяють адаптувати навчальні матеріали до змішаного й дистанційного навчання та забезпечують можливість самостійної роботи студентів. Важливу роль у професійній освіті відіграють освітні симуляції та віртуальні лабораторії, зокрема PhET Interactive Simulations і Labster, які дають можливість моделювати фізичні, хімічні та технологічні процеси.

Сучасна професійна освіта також активно використовує інтелектуальні онлайн-інструменти на основі штучного інтелекту. Одним із таких сервісів є NotebookLM, який дозволяє створювати різноманітні освітні матеріали на основі завантажених джерел інформації. Використання NotebookLM у професійній освіті сприяє автоматизації підготовки навчальних матеріалів та оптимізації роботи викладача.

За допомогою NotebookLM можна генерувати тести, флешкартки, короткі конспекти, запитання для самоконтролю, тематичні підбірки матеріалів та структуровані навчальні нотатки. Сервіс також дає можливість створювати подкасти, аудіоогляди та відеоогляди навчального матеріалу. Важливою функцією є автоматизоване створення ментальних карт, які допомагають систематизувати інформацію, візуалізувати логічні зв’язки між поняттями.

Використання NotebookLM у професійній освіті сприяє розвитку навичок самостійного опрацювання інформації, критичного мислення та цифрової грамотності студентів. Крім того, сервіс дозволяє швидко адаптувати навчальний матеріал до різного рівня підготовки здобувачів освіти та створювати персоналізований контент відповідно до освітніх потреб студентів.

Організація спільної роботи та зворотного зв'язку здійснюється через Padlet, Mentimeter, Jamboard, Miro та Classkick. Використання віртуальних дошок сприяє розвитку комунікативних навичок, співпраці та створенню цифрового портфоліо студентів.

Одним із перспективних напрямів цифровізації професійної освіти є використання QR-кодів і мобільного навчання у майстернях та лабораторіях. QR-коди можуть містити посилання на відеоінструкції, алгоритми виконання робіт, інтерактивні матеріали, 3D-моделі або чек-листи для самоконтролю.

Важливим напрямом розвитку цифрового контенту є впровадження SMART-комплексів. В. О. Радкевич визначає SMART-комплекс як інформаційно-динамічну систему електронного освітнього ресурсу навчально-методичного спрямування, побудовану на постійному розвитку та зміні функціональних зв'язків і відношень [3].

Концептуальна модель SMART-комплексу включає три основні компоненти:

- статичний – електронний підручник із базовими навчальними матеріалами;
- динамічний – хмарні сервіси, системи дистанційного навчання та онлайн-комунікація;
- середовищний – інформаційно-освітнє середовище закладу освіти [3].

Серед основних переваг SMART-комплексів можна виокремити гнучкість та можливість створення індивідуальної освітньої траєкторії, мультимедійність і високий рівень візуалізації навчального матеріалу, організацію колективної взаємодії та забезпечення психологічного комфорту студентів через самоконтроль і самоперевірку [1; 2].

Перспективним напрямом розвитку цифрового контенту є використання технологій доповненої реальності (AR), які дозволяють поєднувати цифрові об’єкти з реальним виробничим середовищем. Використання AR-технологій значно підвищує ефективність практичної підготовки та рівень засвоєння професійних навичок [3].

Отже, використання сучасного цифрового контенту, інтерактивних платформ, інтелектуальних онлайн-інструментів та SMART-комплексів у професійній освіті сприяє підвищенню якості освітнього процесу, розвитку професійних і цифрових компетентностей здобувачів освіти та адаптації навчання до вимог сучасного інформаційного суспільства.

Список використаних джерел

1. Андрощук І. В., Андрощук І. П. Smart-комплекси як засіб підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій у контексті сучасних вимог. *Перспективи та інновації науки (Серія «Педагогіка»).* 2023. № 5(23). С. 148–154.
2. Довгополик К., Смирнова І. SMART-комплекс у професійній підготовці сучасного вчителя. *Professional Pedagogics*. 2021. № 1(22). С. 58–68.
3. Смарт-комплекс як інформаційно-динамічна система електронного освітнього ресурсу навчально-методичного спрямування: монографія / за ред. В. О. Радкевич. Київ : ІЦТО НАПН України, 2022. 164 с.

УДК 37.016:004

Андрій Єрмак, здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти,
Дар'я Просяна, викладач кафедри комп'ютерних наук,
Запорізький національний університет
м. Запоріжжя, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОНЛАЙН-СЕРВІСІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ З ІНФОРМАТИКИ

Анотація. У тезах розглянуто використання онлайн-сервісів для тестового контролю знань з інформатики. Визначено сутність онлайн-сервісів і доцільність їх застосування. Проаналізовано можливості Classtime, Microsoft Forms і Google Forms для створення тестів різних типів та їх використання під час вивчення баз даних, зокрема для оцінювання знань і практичних навичок учнів.

Ключові слова: тестовий контроль, цифрові сервіси, Classtime, Microsoft Forms, Google Forms,

Abstract. The paper examine the use of online services for test-based assessment of students' knowledge in computer science. The concept of online services and the feasibility of their application in the educational process are defined. The capabilities of Classtime, Microsoft Forms, and Google Forms for creating various types of tests are analyzed, as well as their use in studying databases, particularly for assessing both theoretical knowledge and practical skills of students.

Keywords: test-based assessment, digital services, Classtime, Microsoft Forms, Google Forms.

Актуальність. У сучасних умовах цифровізації освіти особливої значущості набуває використання інформаційно-комунікаційних технологій у освітньому процесі. Зокрема, онлайн-сервіси відкривають нові можливості для організації ефективного та об'єктивного контролю знань учнів. Традиційні форми оцінювання поступово доповнюються або замінюються інтерактивними цифровими інструментами, що забезпечують оперативний зворотний зв'язок, автоматизацію перевірки результатів та підвищення мотивації учнів. У цьому контексті актуальним є дослідження можливостей використання онлайн-сервісів у процесі навчання інформатики, зокрема для організації тестового контролю знань.

Мета статті полягає в теоретико-методичному обґрунтуванні та аналізі дидактичного потенціалу сучасних онлайн-сервісів як ефективного інструменту оптимізації контролю навчальних досягнень учнів з інформатики, зокрема через конструювання варіативних форматів тестування для комплексної діагностики їхніх теоретичних знань і практичних компетентностей під час вивчення розділу «Бази даних».

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретико-практичні засади використання цифрових сервісів в освітньому процесі активно досліджуються в сучасній педагогічній науці. Вагомий внесок у вивчення засобів контролю навчальних досягнень учнів з інформатики в умовах цифровізації зробили Т. В. Бондаренко [2] та В. К. Богаченко [3]. Специфіку, переваги та недоліки використання конкретних платформ для онлайн-оцінювання (зокрема Classtime) розкрито в працях Л. В. Рєзнікової та В. М. Александрової [1]. Проте питання інтеграції комплексу різних онлайн-сервісів під час вивчення розділу «Бази даних» потребує додаткового висвітлення.

Основний матеріал. Для забезпечення якісної та об’єктивної перевірки знань учнів у сучасних умовах активно використовуються онлайн-сервіси. Онлайн-сервіс – це вебплатформа, що функціонує через мережу Інтернет і надає користувачам можливість виконувати певні завдання без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на пристрій.

До популярних цифрових сервісів, які доцільно використовувати для контролю знань, належать Classtime, Microsoft Forms та Google Forms. Кожен із них має власний функціонал і може бути ефективно застосований для створення інтерактивних завдань, тестів і навчальних матеріалів.

Далі розглянемо їхні можливості та особливості використання у процесі навчання інформатики.

Для реалізації тестового контролю знань із використанням зазначених онлайн-сервісів було обрано розділ «Бази даних» зі шкільного курсу інформатики.

Classtime – це сучасна онлайн-платформа, розроблена спеціально для вчителів, яка поєднує в собі інтерактивність, ефективність та зручність використання [1]. Платформа дає змогу створювати тестові завдання різних типів, зокрема: завдання з кількома правильними відповідями, «Правда/Неправда», із короткою та довгою відповіддю (есе/твір), на встановлення порядку й відповідності, із вибіркою тексту, обранням області, а також із заповненням пропусків. Сервіс має інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс. Під час створення тестових завдань учитель може додавати зображення (завантажувати файли або використовувати URL-посилання), відео- та аудіоматеріали.

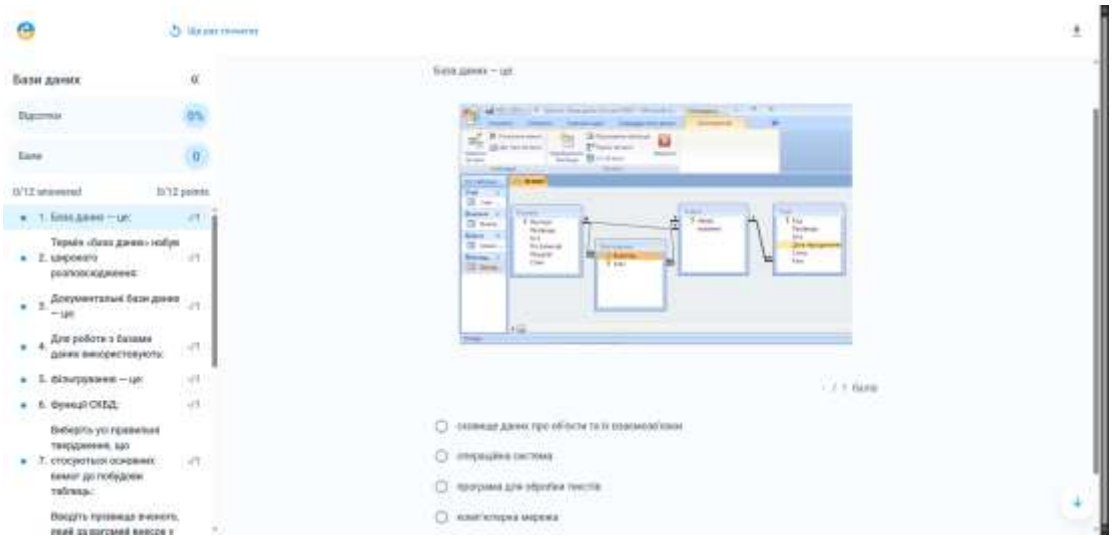


Рис. 1. Візуалізація інструментарію для організації тестування в системі Classtime

Microsoft Forms – сервіс для створення тестів і опитувань з інтеграцією в навчальні платформи та наданням аналітики результатів [2]. Платформа дає змогу створювати тестові запитання різних типів. Передбачено можливість налаштування графічного оформлення форми. Учитель може встановлювати обмеження часу (хронометраж) на проходження тесту. Доступ до тестування можна організувати за допомогою автоматично згенерованого QR-коду, що дає змогу проходити його в реальному часі з відображенням відсоткового розподілу обраних учнями варіантів відповідей.

Рис. 2. Функціональні можливості налаштування параметрів тесту в Microsoft Forms

Google Forms – це онлайн-інструмент, що дозволяє створювати опитувальники для збору даних і проведення онлайн-тестування [3]. Сервіс є безкоштовним і надає широкі можливості для вчителя, зокрема створення тестових завдань різних типів на основі готових шаблонів. На відміну від інших сервісів, Google Forms дає змогу додавати відповіді у вигляді завантажених файлів із заданими кількістю, розміром і типом. Це розширює можливості оцінювання, оскільки учні можуть надсилати результати виконаних практичних завдань у вигляді окремих файлів. Зокрема, підтримується завантаження файлів із розширенням .accdb, що дозволяє використовувати результати роботи учнів у програмі MS Access як форму відповіді. Такий підхід сприяє більш об’єктивному оцінюванню практичних навичок учнів і забезпечує інтеграцію тестового контролю з виконанням реальних навчальних завдань.

Попри значні переваги в автоматизації оцінювання, кожен із проаналізованих сервісів має специфічні обмеження, які вчителю слід враховувати під час планування освітнього процесу. Зокрема, Classtime та Microsoft Forms пропонують потужний функціонал для інтерактивного контролю, проте вимагають стабільного

доступу до мережі Інтернет для коректного відображення аналітики в реальному часі. У свою чергу, Google Forms, попри гнучкість у прийомі файлових відповідей, потребує додаткових налаштувань для забезпечення академічної доброчесності при виконанні складних практичних завдань. Також важливо зауважити, що жоден із сервісів не здатен повністю замінити педагогічне спостереження, а їх використання має носити комплексний характер, поєднуючись із традиційними методами контролю для досягнення максимальної об’єктивності оцінювання.

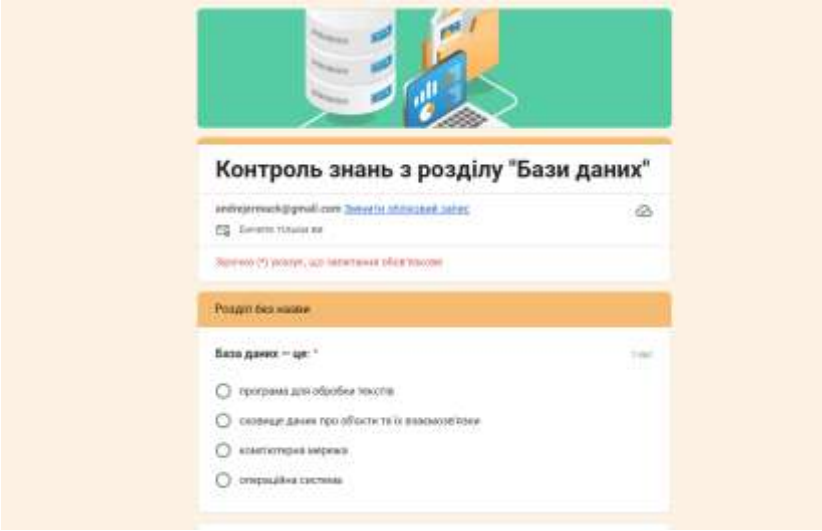


Рис. 3. Використання Google Forms для оцінювання рівня знань здобувачів освіти

Висновок. Здійснене дослідження підтверджує, що імплементація сучасних онлайн-сервісів (Classtime, Microsoft Forms, Google Forms) у практику викладання інформатики суттєво оптимізує процес контролю навчальних досягнень учнів. Завдяки диференційованому функціоналу розглянутих платформ забезпечується можливість конструювання варіативних форматів тестування, спрямованих на комплексну діагностику як теоретичної бази, так і практичних компетентностей здобувачів освіти. Доведено, що використання зазначених цифрових інструментів під час опанування розділу «Бази даних» інтенсифікує навчальну взаємодію, гарантує миттєвий зворотний зв’язок та генерує розгорнуту аналітику результатів. Відтак, системна інтеграція хмарних тестових оболонок в освітній процес є

дидактично доцільною та повністю корелює з імперативами цифрової трансформації сучасної школи.

Список використаних джерел

1. Рєзнікова Л. В., Александрова В. М. Порівняльний аналіз платформ для онлайн-оцінювання: переваги та недоліки Classtime. *Розвиток науки та освіти в умовах глобалізації* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2 серп. 2024 р). Чернігів: Міжнародний гуманітарний дослідницький центр, 2024. С. 26–29.
2. Бондаренко Т. В. Сучасні засоби оцінювання навчальних досягнень з інформатики в умовах цифровізації освіти. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 20. С. 8. https://doi.org/10.5281/zenodo.16576812
3. Богаченко В. К. Сучасні онлайн-ресурси як засоби контролю навчальної успішності учнів з інформатики. *Академічні візії*. 2024. № 30. С. 6. https://doi.org/10.5281/zenodo.10939600

УДК 159.9:004.738.5:378

Анна Мгалоблішвілі, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти кафедри теоретичної та прикладної психології НУ “Львівська Політехніка”, м. Львів, Україна

ВТРАТА АВТОНОМІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ЦИФРОВОГО ПРОСТОРУ: СТУДЕНТ ЯК ОБ’ЄКТ І СУБ’ЄКТ ВПЛИВУ

Анотація. У матеріалах доповіді здійснено теоретичний аналіз проблеми втрати автономії здобувачів вищої освіти в умовах алгоритмізації цифрового простору. Розглянуто особливості функціонування молоді як об’єкта та суб’єкта цифрового впливу в сучасному інформаційному середовищі. Проаналізовано механізми алгоритмічного впливу на психіку студентської молоді, зокрема феномени «економіки уваги», дофамінових поведінкових циклів, «бульбашок фільтрів» та алгоритмічної ідентичності. Визначено психологічні ризики цифрової залежності, втрати автономії та звуження когнітивного горизонту особистості. Окрему увагу приділено проявам цифрової агентності молоді, розвитку цифрової резильєнтності, практикам цифрового опору та трансформації суб’єктності студентів в умовах війни. Обґрунтовано необхідність розвитку цифрової грамотності, критичного мислення та навичок психологічної саморегуляції у системі сучасної вищої освіти.

Ключові слова: цифрове благополуччя, алгоритмізація, цифрова автономія, студентська молодь, цифрова агентність, цифрова резильєнтність, соціальні мережі, алгоритмічна ідентичність, цифровий вплив, психологічне благополуччя.

Abstract. The conference paper presents a theoretical analysis of the problem of autonomy loss among higher education students in the context of digital space algorithmization. The study examines the characteristics of youth functioning as both objects and subjects of digital influence within the modern information environment. The mechanisms of algorithmic impact on students’ psyche are analyzed, including the phenomena of the attention economy, dopamine-driven behavioral loops, filter bubbles, and algorithmic identity. Psychological risks associated with digital dependency, loss of autonomy, and narrowing of the individual’s cognitive horizon are identified. Particular attention is paid to manifestations of digital agency, the development of digital resilience, practices of digital resistance, and the transformation of student subjectivity during wartime conditions. The necessity of developing digital literacy, critical thinking, and psychological self-regulation skills within the modern higher education system is substantiated.

Keywords: digital well-being, algorithmization, digital autonomy, student youth, digital agency, digital resilience, social networks, algorithmic identity, digital influence, psychological well-being.

Сучасний етап розвитку цифрового суспільства характеризується не лише технологічною трансформацією освітнього середовища, а й суттєвою зміною механізмів впливу на психіку молодої людини. Алгоритмізація цифрового простору поступово перетворюється на один із ключових факторів формування поведінкових моделей, емоційних реакцій, інформаційних уподобань та способів самосприйняття студентської молоді. Соціальні мережі, цифрові платформи, системи рекомендацій і персоналізовані стрічки контенту вже давно перестали бути нейтральними інструментами комунікації. Вони стали активними архітекторами цифрової реальності, у межах якої відбувається формування ідентичності, мотивації, стилю мислення та психологічного благополуччя молодого покоління.

Проблема втрати автономії здобувачів вищої освіти в умовах алгоритмізації цифрового середовища сьогодні набуває особливої актуальності. Молодь є найбільш інтегрованою у цифровий простір соціальною групою, для якої онлайн-комунікація стала природною формою соціальної взаємодії, освітньої діяльності та самопрезентації. Водночас саме ця група через вікові психологічні особливості є найбільш вразливою до алгоритмічного впливу, маніпулятивних цифрових механізмів та «економіки уваги» [8].

У сучасній цифровій культурі увага людини перетворюється на стратегічний ресурс. Представники цифрових платформ та соціальних мереж використовують складні системи поведінкового прогнозування для утримання користувача в онлайн-просторі максимально тривалий час. Як зазначає Sh. Zuboff, цифровий капіталізм базується на принципі тотального збору поведінкових даних, які використовуються для прогнозування та модифікації людської поведінки [9]. У такій системі молода людина нерідко перестає бути автономним суб’єктом цифрової взаємодії та перетворюється на об’єкт алгоритмічного конструювання.

Особливу роль у цьому процесі відіграє нейропсихологічна вразливість молоді. Відповідно до моделі подвійних систем Л. Стейнберга, у юнацькому віці

емоційно-мотиваційна система розвивається швидше, ніж механізми когнітивного контролю та саморегуляції [6]. Саме тому студенти більш чутливі до систем варіативного підкріплення, які активно використовуються цифровими платформами. Непередбачуване оновлення стрічки новин, система лайків, повідомлень та рекомендацій запускають дофамінові механізми очікування винагороди, формуючи поведінкові патерни, подібні до адиктивних моделей.

Дослідження A. Alter демонструють, що цифрові інтерфейси навмисно проєктуються за принципом поведінкового захоплення уваги [1]. Молодий користувач постійно перебуває у стані очікування нової стимуляції, а механізм нескінченного скролінгу формує ефект «цифрової петлі», у якій втрачається здатність до свідомого контролю часу та власної активності. Таким чином студент стає не стільки активним користувачем цифрового простору, скільки об’єктом алгоритмічного впливу.

Одним із найбільш небезпечних наслідків алгоритмізації цифрового середовища є ерозія автономії особистості. Алгоритми персоналізованого контенту створюють так звані «бульбашки фільтрів», у межах яких людина отримує переважно ту інформацію, яка відповідає її попереднім інтересам, поведінковим реакціям або емоційним тригерам [5]. У результаті поступово звужується когнітивний горизонт особистості, знижується рівень критичного мислення та формується ілюзія самостійного вибору.

E. Pariser зазначає, що алгоритмічні системи не просто пропонують контент, а фактично конструюють індивідуальну інформаційну реальність користувача [5]. Людина починає взаємодіяти не з об’єктивною картиною світу, а з її алгоритмічно адаптованою версією. Особливо небезпечним це є для студентської молоді, яка перебуває на етапі формування світогляду, професійної ідентичності та системи цінностей.

У сучасних умовах виникає феномен алгоритмічної ідентичності - особливого типу самосприйняття, що формується під впливом цифрових механізмів соціального відображення. Молодь дедалі частіше сприймає себе через реакції цифрової аудиторії, кількість переглядів, лайків та охоплень. Соціальні

мережі стають своєрідним «дзеркалом», яке визначає рівень соціальної значущості особистості [7].

S. Turkle наголошує, що цифрове середовище створює новий тип залежності від зовнішнього схвалення, коли внутрішня самооцінка починає підмінятися алгоритмічною оцінкою популярності [7]. Для студентської молоді це може супроводжуватися підвищеною тривожністю, емоційною нестабільністю, страхом соціального виключення та втратою автентичності.

Водночас молодь не є абсолютно пасивним об'єктом цифрового впливу. Попри високий рівень алгоритмічного тиску, студенти здатні проявляти цифрову агентність - активну здатність усвідомлено взаємодіяти з цифровим середовищем, використовувати його ресурси у власних цілях та формувати стратегії психологічного захисту [4].

Одним із проявів такої агентності є свідома інструменталізація алгоритмів. Сучасна молодь активно використовує механізми цифрової популярності для професійної самореалізації, побудови персонального бренду, освітнього просування та монетизації власної діяльності. Студенти навчаються адаптувати контент під алгоритмічні вимоги платформ, оптимізувати власну цифрову присутність та використовувати цифрові тренди для соціального просування.

Водночас формується і феномен цифрового опору. Молоді користувачі дедалі частіше усвідомлюють маніпулятивну природу алгоритмів та намагаються мінімізувати їхній вплив. Однією з форм такого опору є створення альтернативних акаунтів - які використовуються для комунікації у вузькому довірчому колі та дозволяють зберігати більш автентичну версію власного «Я» [3].

Крім того, молодь активно використовує практики цифрової саморегуляції: контроль екранного часу, очищення цифрового сліду, свідоме відключення сповіщень, інформаційний детокс та обмеження взаємодії з токсичним контентом. Такі стратегії свідчать про поступове формування цифрової резильєнтності - здатності особистості підтримувати психологічну стійкість у цифровому середовищі.

В умовах повномасштабного воєнного стану в Україні суб'єктність вітчизняної молоді набула унікального екзистенційного виміру. Спостерігається парадоксальна трансформація колишніх мирних «деструктивних» або пасивних практик в адаптивні копінг-стратегії та інфраструктуру виживання.

Феномен думскролінгу (хронічного гортання стрічки негативних новин), який у мирний час однозначно інтерпретувався психологами як прояв тривожної залежності та втрати контролю, в умовах війни переосмислюється як інструмент когнітивного контролю та гіперпильності [1]. Постійний моніторинг каналів у Telegram стає для студента засобом зниження екстремальної невизначеності середовища, способом символічного опанування ситуації та забезпечення базової безпеки. Месенджери починають виконувати функцію «цифрового контейнера безпеки», де реалізується потреба у горизонтальній координації, ілюзії колективного контролю та подоланні екзистенційної безпорадності.

Найвищим проявом суб'єктності є перехід від пасивного медіатравмування (споживання контенту про руйнування та смерть) до активного цифрового волонтерства. Українське студентство масово демонструє діяльнісний підхід: трансформація особистісної тривоги та люті у створення закриваючих зборів, участь у кібероборoні (DDoS-атаки, інформаційна протидія ворожій пропаганді), створення контр-наративів та координування гуманітарних місій онлайн. Цей перехід повертає особистості відчуття контролю, відновлює порушену суб'єктність та виступає потужним чинником формування психологічної стійкості.

Попри це, проблема втрати автономії в умовах алгоритмізації цифрового простору залишається надзвичайно актуальною. Основне психологічне напруження виникає у точці взаємодії трьох компонентів: алгоритму, об'єкта та суб'єкта цифрового впливу. Саме в цій системі формується складний баланс між цифровою залежністю та цифровою автономією, між маніпулятивним впливом і свідомою саморегуляцією.

Алгоритми проєктують інформаційне середовище та впливають на формування ідентичності особистості. Об'єктний вимір проявляється через втрату автономії, формування дофамінових поведінкових циклів, інформаційну залежність

та емоційне виснаження. Суб'єктний вимір пов'язаний із розвитком цифрової резильєнтності, свідомих копінг-стратегій, інформаційної гігієни та психологічної саморегуляції.

У сучасних умовах система вищої освіти повинна враховувати не лише технологічні можливості цифрового навчання, а й психологічні ризики алгоритмізованого середовища. Формування цифрової грамотності сьогодні має включати не лише технічну компетентність, а й розвиток критичного мислення, навичок цифрової саморегуляції, інформаційної безпеки та психологічної автономії.

Теоретичний аналіз проблеми свідчить, що здобувач вищої освіти в умовах сучасного алгоритмізованого цифрового простору перебуває у стані безперервного діалектичного балансування. З одного боку, як об'єкт, він піддається жорсткому нейропсихологічному захвату, дофаміновій регуляції поведінки та когнітивному обмеженню всередині «бульбашок фільтрів», що веде до ерозії автономії та заміни автентичної ідентичності алгоритмічними сурогатами. З іншого боку, як суб'єкт, студент виявляє цифрову агентність, розробляє стратегії технічного й психологічного опору алгоритмам та виявляє високий рівень резильєнтності в умовах екстремальних викликів воєнного часу.

Для системи вищої освіти цей висновок визначає необхідність радикального переосмислення підходів до психолого-педагогічного супроводу студентів. Завданням сучасного університету є не заборона цифрових технологій чи пасивна констатація «кліповості» мислення молоді, а цілеспрямоване вирощування їхньої цифрової суб'єктності. Це передбачає розвиток критичного мислення, алгоритмічної грамотності та впровадження практико-орієнтованих програм, спрямованих на подолання «парадоксу автентичності» та трансформацію деструктивних цифрових паттернів у проактивну, соціально корисну діяльність особистості.

Список використаних джерел

1. Alter A. Irresistible: The Rise of Addictive Technology and the Business of Keeping Us Hooked. New York : Penguin Press, 2017. 368 p.

2. Carr N. The Shallows: What the Internet Is Doing to Our Brains. New York : W. W. Norton & Company, 2020. 320 p.
3. Duffy B. E., Chan N. “You Never Really Know Who’s Looking”: Imagined Surveillance Across Social Media Platforms. New Media & Society. 2019. Vol. 21, № 1. P. 119–138. https://doi.org/10.1177/1461444818791318
4. Gonzales A. L., Hancock J. T. Mirror, Mirror on my Facebook Wall: Effects of Exposure to Facebook on Self-Esteem. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2011. Vol. 14, № 1–2. P. 79–83. https://doi.org/10.1089/cyber.2009.04
5. Pariser E. The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You. London : Penguin Books, 2012. 304 p.
6. Steinberg L. Adolescence. New York : McGraw-Hill Education, 2016. 520 p.
7. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. New York : Basic Books, 2017. 360 p.
8. Valkenburg P. M., Peter J. The Differential Susceptibility to Media Effects Model. *Journal of Communication*. 2013. Vol. 63, № 2. P. 221–243. https://doi.org/10.1111/jcom.12024
9. Zuboff S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. New York : Public Affairs, 2019. 704 p.

СЕКЦІЯ 5.
ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

УДК 377.35:378.147:004.738.5

Олена Тітова, доктор педагогічних наук, професор,
завідувач відділу фахової передвищої освіти
Інституту професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ЯКІСТЬ ОСВІТНЬОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЯК ОСНОВА УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНОЮ ПІДГОТОВКОЮ ФАХОВИХ МОЛОДШИХ БАКАЛАВРІВ В АГРАРНИХ КОЛЕДЖАХ

Анотація. У статті розкрито підхід до управління якістю фахової передвищої аграрної освіти, в основі якого лежить забезпечення якості освітньої діяльності. Висвітлено нормативно-концептуальні орієнтири, визначено управлінські механізми та показано специфіку аграрного коледжу як середовища практикоорієнтованої професійної підготовки.

Ключові слова: фахова передвища аграрна освіта; якість освітньої діяльності; управління якістю; аграрний коледж; професійна підготовка; внутрішня система забезпечення якості.

Abstract. The article explores an approach to managing the quality of professional pre-higher agricultural education based on assuring the quality of educational activities. It highlights the normative and conceptual foundations of this approach, identifies the main management mechanisms, and shows the specific features of an agricultural college as an environment for practice-oriented professional training.

Keywords: professional pre-higher agricultural education; quality of educational activities; quality management; agricultural college; professional training; internal quality assurance system.

Якість професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах набуває особливої ваги в умовах технологічної модернізації агросектору, оновлення вимог до кваліфікацій та зростання очікувань роботодавців щодо практичної готовності випускників. Сучасне аграрне виробництво потребує

фахівців, здатних працювати з новими технологіями, цифровими рішеннями, дотримуватися стандартів безпеки, екологічності та виробничої ефективності. За таких умов особливого значення набуває якість освітньої діяльності закладу, оскільки саме вона визначає, наскільки освітньо-професійна програма, зміст навчання, практична підготовка, оцінювання та освітнє середовище забезпечують досягнення результатів навчання [2; 5]. Додатковими викликами є освітні втрати, потреба в прозорості процедур, об'єктивності оцінювання, системному залученні здобувачів освіти і роботодавців до моніторингу та вдосконалення підготовки [3; 5]. Отже, якість не може розглядатися як результат окремих контрольних заходів, а має бути інтегрована в загальну систему управління аграрним коледжем як пріоритет системної організації освітньої діяльності [2; 5].

Нормативно-концептуальну основу управління якістю фахової передвищої аграрної освіти становлять положення національного законодавства України та європейські орієнтири забезпечення якості освіти. Відповідно до Закону України «Про фахову передвищу освіту», система забезпечення якості фахової передвищої освіти охоплює внутрішню і зовнішню складові, а внутрішня система забезпечення якості закладу спрямовується на забезпечення якості освітньої діяльності та якості фахової передвищої освіти [2]. Принципово важливим є те, що закон пов'язує забезпечення якості не лише з контролем результатів, а з визначенням і реалізацією політики, принципів та процедур, інтегрованих до загальної системи управління закладом освіти, узгоджених з його стратегією та зорієнтованих на залучення внутрішніх і зовнішніх заінтересованих сторін [2]. Це дає підстави розглядати управління якістю в аграрному коледжі не як окремий напрям контролю, а як інтегрований складник управління освітньою діяльністю.

Концептуально такий підхід узгоджується з європейськими рамками забезпечення якості, насамперед ESG, де акцентовано увагу на публічній політиці якості, студентоцентрованому навчанні, прозорості, моніторингу, періодичному перегляді освітніх програм і використанні інформації для ухвалення рішень [5]. Для

фахової передвищої, зокрема аграрної, освіти важливими є також орієнтири EQAVET, які підкреслюють циклічність управління якістю, зв'язок між плануванням, реалізацією, оцінюванням і вдосконаленням [4; 6]. Отже, нормативно-концептуальна основа дає змогу трактувати якість освітньої діяльності як ключовий об'єкт управління, через який забезпечується якість професійної підготовки фахових молодших бакалаврів.

У контексті фахової передвищої аграрної освіти об'єктом управління має виступати не лише підсумковий результат підготовки, а насамперед якість освітньої діяльності, оскільки саме вона створює умови для досягнення запланованих результатів навчання і сформованості професійних компетентностей здобувачів освіти. Такий підхід випливає з положень законодавства, де внутрішня система забезпечення якості охоплює як якість освітньої діяльності, так і якість фахової передвищої освіти [1; 2]. Водночас у сучасних підходах до забезпечення якості дедалі більше утверджується розуміння того, що результативність професійної підготовки визначається не окремими контрольними процедурами, а якістю організації, ресурсного забезпечення, реалізації та вдосконалення освітнього процесу [4; 5; 7]. Отже, управління якістю в аграрному коледжі доцільно спрямовувати на всі складники освітньої діяльності, які безпосередньо впливають на результативність професійної підготовки.

До таких складників належать: якість проєктування та оновлення освітньо-професійних програм, організація теоретичного і практичного навчання, об'єктивність оцінювання, доступність освітнього середовища, професійний розвиток викладачів, а також зворотний зв'язок зі здобувачами освіти та роботодавцями [2; 5]. Для аграрного коледжу особливо важливим є узгодження освітньої діяльності з вимогами практикоорієнтованої підготовки, оскільки якість професійного становлення майбутнього фахівця значною мірою залежить від реалістичності навчальних завдань, якості виробничої практики, актуальності технологічного змісту та зв'язку навчання з майбутньою професійною діяльністю

[5; 7]. Таким чином, якість освітньої діяльності слід розглядати як ключовий процесний вимір, через який реалізується управління якістю професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Забезпечення якості освітньої діяльності в аграрному коледжі потребує цілісного застосування управлінських механізмів, які охоплюють планування, реалізацію, моніторинг і вдосконалення освітнього процесу. Передусім ідеться про формування та послідовне впровадження внутрішньої політики забезпечення якості, що визначає цілі, принципи, процедури, розподіл відповідальності та порядок ухвалення рішень у сфері освітньої діяльності [2; 5]. Важливим механізмом є також розроблення, моніторинг і періодичний перегляд освітньо-професійних програм відповідно до стандартів освіти, потреб здобувачів освіти, запитів роботодавців і змін у професійному середовищі [2; 4; 5]. Такий підхід дає змогу розглядати якість не як статичний стан, а як результат постійного управлінського супроводу освітнього процесу.

Не менш значущими є механізми забезпечення релевантного, надійного, прозорого й об’єктивного оцінювання результатів навчання, дотримання академічної доброчесності, підтримки професійного розвитку викладачів, а також збирання, аналізу і використання інформації для ефективного управління освітнім процесом [2; 5; 7]. Особливу роль відіграє системне залучення здобувачів освіти та роботодавців до процедур моніторингу й удосконалення підготовки, оскільки це дає змогу своєчасно виявляти розриви між запланованими й досягнутими результатами навчання, коригувати зміст і організацію підготовки, підвищувати її практичну спрямованість [2; 3; 4]. У сукупності такі механізми забезпечують перехід від формального контролю до безперервного управління якістю освітньої діяльності як основи якісної професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Специфіка аграрного коледжу зумовлює особливі акценти в управлінні якістю освітньої діяльності. Насамперед ідеться про необхідність тісного зв’язку з

роботодавцями, базами практики та іншими партнерами аграрного сектору, оскільки саме вони дають змогу узгоджувати зміст підготовки з реальними вимогами професійного середовища [2; 4]. Важливого значення набуває оцінювання готовності здобувачів освіти до професійної діяльності в реальних або наближених до реальних виробничих умовах, де перевіряються не лише знання, а й практичні вміння, здатність працювати з технікою, дотримуватися технологічних і безпекових вимог. Управління якістю в аграрному коледжі також передбачає постійне оновлення змісту освіти під впливом технологічних змін в агросекторі та поєднання теоретичної, практичної, цифрової й безпекової складових професійної підготовки [7].

Отже, управління якістю фахової передвищої аграрної освіти доцільно розглядати як безперервний цикл цілеспрямованого впливу на якість освітньої діяльності, через яку забезпечується якість професійної підготовки фахових молодших бакалаврів. У цій логіці ключового значення набуває не окремий контроль результатів, а послідовне поєднання планування цілей і результатів навчання, організації освітнього процесу, моніторингу досягнутих результатів, аналізу зібраної інформації та ухвалення рішень щодо вдосконалення [4; 5]. Такий підхід відповідає законодавчо визначеній внутрішній системі забезпечення якості та узгоджується з європейськими орієнтирами, які акцентують студентоцентрованість, прозорість, участь стейкхолдерів, доказовість управлінських рішень і циклічний характер удосконалення [2; 4; 5; 6]. Для аграрного коледжу це означає, що якість професійної підготовки має забезпечуватися через системне управління змістом освіти, практичною підготовкою, оцінюванням, взаємодією з роботодавцями, розвитком викладачів і використанням даних для своєчасного коригування освітнього процесу.

Таким чином, якість професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах доцільно забезпечувати через управління якістю освітньої діяльності як процесною основою досягнення результатів навчання. Нормативні

положення Закону України «Про фахову передвищу освіту» дають підстави розглядати внутрішню систему забезпечення якості як складник загальної системи управління закладом, а європейські орієнтири ESG та EQAVET – як методологічну основу для її розвитку. Основними ознаками такого підходу є інтегрованість політики якості в управління закладом, системний моніторинг освітньої діяльності, залучення здобувачів освіти й роботодавців, прозорість процедур, об'єктивність оцінювання та спрямованість на постійне вдосконалення. З урахуванням специфіки аграрного коледжу особливого значення набувають зв'язок із професійним середовищем, практикоорієнтований характер підготовки, оновлення змісту освіти відповідно до технологічних змін в агросекторі та поєднання теоретичної, практичної, цифрової й безпекової складових. Перспективу подальшої роботи вбачаємо в конкретизації цього підходу на рівні методичної системи забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Список використаних джерел

1. Верховна Рада України. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2145-19 (дата звернення 13.04.2026).
2. Верховна Рада України. Про фахову передвищу освіту : Закон України від 06.06.2019 № 2745-VIII [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2745-19 (дата звернення 13.04.2026).
3. Державна служба якості освіти України. Результати моніторингу вивчення іноземних мов у закладах фахової передвищої та професійної освіти: результати першого етапу Пілотного проєкту [Електронний ресурс]. URL: https://sqe.gov.ua/rezultaty-monitoryngu-vyvchennya-inozemnyh-mov-u-zakladah-fahovoyi-peredvyshhoyi-ta-profesijnoyi-osvity/ (дата звернення 15.04.2026).
4. Council of the European Union. Council Recommendation of 24 November 2020 on vocational education and training (VET) for sustainable competitiveness, social fairness and resilience (2020/C 417/01) [Електронний ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020H1202(01) (дата звернення 12.05.2026).
5. European Association for Quality Assurance in Higher Education, European Students' Union, European University Association, EURASHE. Standards and guidelines for quality assurance in the European Higher Education Area (ESG) [Електронний

ресурс]. URL: https://ehea.info/media.ehea.info/file/ESG/00/2/ESG_2015_616002.pdf (дата звернення 12.05.2026).
6. European Parliament and Council of the European Union. Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on the establishment of a European Quality Assurance Reference Framework for Vocational Education and Training (EQAVET) (2009/C 155/01) [Електронний ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009H0708(01) (дата звернення 12.05.2026).
7. Titova O. European quality assurance policy frameworks for VET and short-cycle tertiary education: implementation potential for Ukrainian agricultural colleges. In: Quality assurance of vocational and professional pre-higher education in the context of contemporary challenges : Project Report / eds. V. O. Radkevych, M. A. Pryhodii [Електронний ресурс]. – Katowice, Poland : Publishing House of University of Technology, 2026. P. 17–25. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/748821/ (дата звернення 11.05.2026).

УДК 37.016:51]:159.955

Віталій Ачкан, доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри математики та методики її навчання,
Надія Корнієнко**,** здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти,
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна

ОКРЕМІ АСПЕКТИ КРЕАТИВНОГО МИСЛЕННЯ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ

Анотація. У статті розглянуто роль креативного мислення у процесі навчання математики. Показано, що креативність є однією з ключових компетентностей сучасної освіти, яка забезпечує гнучкість і нестандартність мислення. Теоретичний аналіз підходів до креативності (Амабайл, Стернберг, Гілфорд, Торренс, Павленко) доповнено прикладами її прояву у математичній освіті: формулювання гіпотез, пошук елегантних доведень, завдання з множинними рішеннями. Окреслено педагогічні технології розвитку креативності – STEM-проєкти, гейміфікація, дослідницькі завдання. Зроблено висновок, що розвиток креативного мислення у навчанні математики сприяє формуванню сучасної особистості, здатної до інноваційної діяльності та продуктивної участі в суспільному житті.

Ключові слова: креативність, креативне мислення, математична освіта, STEM, інноваційні технології, дивергентне мислення, педагогічні умови.

Abstract. The abstracts examine the role of creative thinking in the process of teaching mathematics. It is shown that creativity is one of the key competencies of modern education, ensuring flexibility and non-standard thinking. The theoretical analysis of approaches to creativity (Amabile, Sternberg, Guilford, Torrance, De Bono, Pavlenko) is supplemented by examples of its manifestation in mathematics education: formulating hypotheses, searching for elegant proofs, and tasks with multiple solutions. Pedagogical technologies for the development of creativity are outlined, including STEM projects, gamification, and research tasks. It is concluded that the development of creative thinking in teaching mathematics contributes to the formation of a modern personality capable of innovative activity and productive participation in social life.

Keywords: creativity, creative thinking, mathematics education, STEM, innovative technologies, divergent thinking, pedagogical conditions.

У сучасній освітній парадигмі креативність визначається як одна з ключових компетентностей, необхідних для успішної самореалізації особистості.

Математика, будучи фундаментальною дисципліною, традиційно асоціюється з логічним мисленням та алгоритмічними підходами. Проте саме вона створює необхідні умови для розвитку творчості: від пошуку нестандартних рішень до формулювання нових гіпотез. Розвиток креативного мислення у процесі навчання математики є важливим чинником формування учня як інноватора, здатного адаптуватися до складних викликів сучасного світу.

У сучасному освітньому та науковому просторі поняття креативності та креативного мислення є ключовими для формування успішної особистості. Теоретичний аналіз цих категорій дозволяє визначити їхню сутність і специфіку застосування, зокрема в математиці.

Поняття креативність розглядається як фундаментальна властивість особистості, що є джерелом її інноваційного потенціалу. Одним з поглядів світових наукових шкіл є визначення креативності, як здатності створювати продукти або ідеї, які одночасно мають дві ключові характеристики: новизна/оригінальність та цінність/корисність для певного контексту. Цей підхід, що фокусується на продукті/ідеї, розвивали такі дослідники, як Т. Амабайл [4]. На противагу цьому, гуманістичний підхід (креативність як особистість) втілюється у поглядах А. Маслоу, який розглядав креативність як невід'ємний елемент самоактуалізації, пов'язаний зі свободою духу та спонтанністю індивіда [9].

Український дослідник В. В. Павленко підкреслює, що креативне мислення – це динамічний когнітивний процес та евристичний тип розумової діяльності, який дозволяє реалізувати креативний потенціал особистості [2]. Цей процес узгоджується із концепцією латерального мислення Едварда Де Боно, яке передбачає свідомий відхід від прямолінійної логіки для пошуку неочевидних рішень [5].

У сучасній педагогіці креативне мислення обов'язково розглядається в інтеграції з критичним мисленням, що забезпечує не лише генерацію, але й оцінку ідей [9]. Справжнє креативне мислення проявляється не лише як відповідь на

зовнішні стимули, але й як здатність самостійно виявляти інтелектуальні здібності та творчий потенціал, застосовуючи знання для розв'язання актуальних завдань альтернативними, нетрафаретними методами [2], тобто внутрішній потребі творити. Це, зокрема, дозволяє учням долати апатію та висловлювати власне ставлення до актуальних проблем [1].

У контексті точних наук креативне мислення в математиці набуває предметної специфіки, фокусуючись на нешаблонній роботі з абстрактними структурами та логікою. На відміну від простого використання алгоритмів, математична креативність проявляється у творчому перетворенні знань, а саме: у комбінуванні раніше засвоєних теорем у нову послідовність для вирішення невідомого (ці ідеї розвивали сучасні українські дослідники, зокрема В. Павленко).

Важливими маркерами креативності у сфері математики є формулювання нових проблем та гіпотез [9] та пошук елегантних і витончених методів доведення [8]. З педагогічної точки зору, це уміння розвивається через завдання із множинними розв'язками (Multiple Solution Tasks) [7] та дослідницькі завдання (Investigation Tasks) (К. Хрістоу), які вимагають розвитку уяви та гнучкості мислення [6].

Розвиток креативного мислення в процесі навчання математики є важливим чинником формування сучасної особистості, здатної до продуктивної участі в суспільному житті та професійній діяльності. Креативність у математичній освіті забезпечує не лише ефективне засвоєння знань, а й створює умови для їх творчого застосування. Це відкриває перспективи для подальших досліджень у сфері методики навчання математики, зокрема щодо інтеграції креативних завдань у навчальні програми та розробки інноваційних педагогічних технологій. Важливими маркерами математичної креативності є:

- уміння бачити кілька шляхів розв'язання задачі;
- пошук нестандартних методів доведення;
- створення математичних моделей для реальних процесів;

- інтеграція знань із різних галузей (STEM-підхід);
- завдання з множинними рішеннями (Multiple Solution Tasks);
- дослідницькі завдання (Investigation Tasks).

Креативне мислення у навчанні математики це не лише інтелектуальна навичка, а й важливий засіб формування сучасної особистості. Воно забезпечує гнучкість і нестандартність мислення, підвищує мотивацію до навчання, сприяє інтеграції знань у реальних життєвих ситуаціях. Розвиток креативності в математиці відкриває перспективи для створення інноваційних педагогічних технологій та формування учнів, здатних до продуктивної участі в суспільному й професійному житті.

Список використаних джерел

1. Іванова О. А. Реалізація освітніх технологій у процесі розвитку креативного мислення. *Наукові записки. Серія: проблеми природничо-математичної, технологічної та професійної освіти*. 2024. № 2. С. 72–82. https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2024-2-8
2. Павленко В. Креативність: сутність, структура, закономірності формування і розвиток. *Педагогічна освіта: теорія і практика. педагогіка. психологія*: зб. наук. праць. 2015. № 23. С. 15–21. URL: https://eprints.zu.edu.ua/20364/1/Pavlenko2.pdf (дата звернення 11.03.2026).
3. Alabbasi AMA, Paek SH, Kim D., Cramond B. What do educators need to know about the Torrance Tests of Creative Thinking: *A comprehensive review. Frontiers in Psychology*. 2022. №13. P. 1-14. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1000385
4. Amabile T. M. Componential Theory of Creativity. To appear in Encyclopedia of Management Theory (Eric H. Kessler, Ed.). 2013. P. 2. URL: https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/12-096.pdf (дата звернення 09.03.2026).
5. Demosthenous E., Christou C., Pitta-Pantazi D. Mathematics classroom assessment: a framework for designing assessment tasks and interpreting students' responses. *European journal of investigation in health, psychology and education*. 2021. Т. 11, № 3. P. 1088–1106. https://doi.org/10.3390/ejihpe11030081
6. Leikin R., Lev M. Multiple solution tasks as a magnifying glass for observation of mathematical creativity. University of haifa. 2007. P. 161–168. URL:ttps://www.researchgate.net/publication/267792202_Multiple_solution_tasks_as_a_magnifying_glass_for_observation_of_mathematical_creativity (дата звернення 11.03.2026).

7. Lysenko S. Formation and development of the paradigm of self-actualization of personality and its rethinking in the context of modernity. *Humanities studies*. 2021. T. 8(85). P. 20–28. https://doi.org/10.26661/hst-2021-8-85-02
8. Sriraman B. The characteristics of mathematical creativity. *The mathematics educator.* 2015. T. 14, № 1. https://doi.org/10.63301/tme.v14i1.1868
9. Volkova S. H., Tuliakova K. R., Meleshko I. V. Critical and creative thinking – the driving force for a future successful specialist. *Innovate pedagogy*. 2023. T. 1, № 56. P. 154–156. https://doi.org/10.32782/2663-6085/2023/56.1.32

УДК 373.3.091.33-027.22:005.51

Маріанна Швардак, доктор педагогічних наук,
професор, професор кафедри педагогіки дошкільної,
початкової освіти та освітнього менеджменту
Марина Вотьканич, здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності А3 Початкова освіта,
Мукачівський державний університет, м. Мукачево, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДИЗАЙН-МИСЛЕННЯ В ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ ЯК ЗАСОБУ РОЗВИТКУ КРЕАТИВНОСТІ ТА НАВИЧОК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ

Анотація. У роботі досліджено потенціал технології дизайн-мислення як інструменту розвитку творчого потенціалу та когнітивної гнучкості молодших школярів. Проаналізовано п’ятиетапну модель дизайн-процесу та її роль у формуванні інноваційної компетентності учнів у контексті Нової української школи. Визначено роль учителя як фасилітатора, що сприяє створенню людиноцентрованого освітнього середовища через практичну проєктну діяльність.

Ключові слова: дизайн-мислення, початкова школа, креативність, вирішення проблем, емпатія, Нова українська школа**.**

Abstract. The paper explores the potential of design thinking technology as a tool for developing creativity and cognitive flexibility in primary school students. The five-stage model of the design process and its role in the formation of students’ innovative competence in the context of the New Ukrainian School are analyzed. The role of the teacher as a facilitator who contributes to the creation of a human-centered educational environment through practical project activities is defined.

Keywords: design thinking, primary school, creativity, problem solving, empathy, New Ukrainian School.

Сучасна парадигма початкової освіти в умовах цифрової трансформації потребує впровадження методів, що готують учнів до викликів майбутнього, де більшість професій 2030 року ще не винайдені. Традиційні моделі навчання, зосереджені на пасивному засвоєнні знань, поступаються місцем людиноцентрованим ітеративним підходам, серед яких дизайн-мислення постає як фундаментальна технологія для розвитку критичного мислення, колаборації та

комунікації. Дизайн-мислення в освітньому середовищі визначається не просто як метод проектування предметів, а як особливий спосіб мислення, що поєднує уяву, аналітику та здатність до генерації інноваційних ідей для задоволення реальних людських потреб. Ця технологія дозволяє перетворити класну кімнату на динамічний простір, де теоретичні знання переплітаються з практичним досвідом через конструктивістський принцип навчання через дію, допомагаючи дітям ідентифікувати проблеми та перетворювати їх на можливості для вдосконалення світу [2; 4].

Ефективність впровадження дизайн-мислення в початковій школі базується на психології розвитку, зокрема на тому, що цей вік є сенситивним для розвитку креативності та здатності до продукування оригінальних ідей [Мовчан, Федоренко, 2025]. Дизайн-мислення трактується як інтегрований ітераційний підхід, спрямований на пошук нестандартних рішень, що базується на глибокому розумінні потреб користувача та емпатії [4]. Застосування цієї технології в НУШ сприяє формуванню інноваційної компетентності, розвиваючи допитливість, уяву та здатність перетворювати ідеї в конкретні продукти [1]. Дослідження підтверджують, що успішність у завданнях із дизайн-мислення є значущим предиктором розвитку креативних навичок, оскільки здатність дитини виражати ідеї в матеріальній формі безпосередньо впливає на якість розробки рішень для життєвих ситуацій.

Методологія дизайн-мислення зазвичай реалізується через п’ятиступеневу модель, яка починається з емпатії – глибокого дослідження потреб та досвіду іншої людини. На цьому етапі школярі вчаться спостерігати та взаємодіяти з оточуючими, щоб зрозуміти їхні емоції та труднощі, що є критичним для подолання природного егоцентризму та розвитку емоційного інтелекту. Після занурення в досвід іншого настає етап визначення або фокусування проблеми, де учні синтезують отримані дані для формулювання чіткого та дієвого завдання. Важливо, щоб на цьому кроці вчитель стимулював дітей використовувати

позитивну мову, орієнтовану на пошук рішень, перетворюючи виклики на можливості через запитання «Як ми можемо допомогти?» [3].

Наступний етап – генерація ідей або ідеація – передбачає фазу дивергентного мислення, де заохочується максимальна кількість варіантів без обмежень чи передчасної критики [4]. Для молодших школярів особливо корисно використовувати техніки мозкового штурму та візуалізацію, що дозволяє повноцінно брати участь у процесі всім дітям, незалежно від рівня їхніх вербальних навичок [1]. Обрані кращі ідеї втілюються на етапі прототипування, де учні створюють швидкі та грубі моделі з підручних матеріалів, таких як картон, пластилін або конструктор Lego. Основна філософія тут полягає в можливості швидко помилитися, щоб навчитися на ранніх етапах, адже прототип має бути функціональним для перевірки головної ідеї [4]. Завершальний етап тестування передбачає збір зворотного зв’язку від користувачів, що вчить дітей конструктивно сприймати критику та постійно вдосконалювати свій продукт [3].

Інтеграція дизайн-мислення в навчальні предмети, такі як математика, мистецтво чи мовно-літературна галузь, робить академічні знання релевантними до життя та поглиблює їх розуміння [2]. Наприклад, під час STEAM-проєктів учні початкових класів мають можливість не лише створювати нове, а й змінювати та покращувати існуюче, руйнуючи стереотипи [1]. Використання дизайн-мислення для розробки освітніх проєктів допомагає майбутнім вчителям та учням адаптуватися до умов невизначеності, розвиваючи інтелектуальну автономію та здатність діяти в кризових ситуаціях [3]. Такий підхід сприяє формуванню креативної впевненості – віри школярів у власну здатність впливати на зміни через інновації [4].

Роль педагога в цьому процесі трансформується від контролера знань до ментора та фасилітатора, який створює безпечне середовище для експериментів. Вчитель має демонструвати учням приклад інтелектуального творення та підтримувати їхні ініціативи, допомагаючи перетворювати ідеї на реальні проєкти

[5]. Використання елементів дизайну в підготовці майбутніх вчителів початкової школи є необхідною умовою модернізації освіти, оскільки дизайн постає наскрізним чинником розвитку особистості від дитинства до професійної діяльності [2]. Застосування технології дизайн-мислення забезпечує цілісний розвиток дитини, поєднуючи когнітивне зростання з емоційним інтелектом та соціальною відповідальністю.

Список використаних джерел

1. Мовчан В. І., Федоренко А. О. Формування інноваційної компетентності молодших школярів на уроках інтегрованого курсу «Дизайн і технології». *Наука і техніка сьогодні*. 2025. Вип. 2 (43). С. 792–800.
2. Пасько О., Кравченко М. Роль дизайну у розвитку творчої особистості й формуванні наукового мислення обдарованої молоді в умовах неперервної освіти та цифрового освітнього простору. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2025. Вип. 91, т. 2. С. 246–251.
3. Тесленко Т. В., Сенчило А. В., Мельнічук Н. В. Підготовка майбутніх учителів до розвитку критичного та дизайн-мислення молодших школярів у процесі вивчення обов’язкових психолого-педагогічних та вибіркових дисциплін. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 15. С. 115–122.
4. Тягур В. М. Дизайн-мислення – методологія інноваційного креативного розвитку майбутніх вчителів початкової школи. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2023. № 8 (14). С. 919–932.
5. Zaporozhchenko T., Shvardak M., Stakhiv L., Kalyta N., Sadova I., & Illyash S. A Future Primary School Teacher Competence Building Model through Application of Innovative Technologies. *Revista Românească pentru Educaţie Multidimensională.* 2022. 14(4). 01-20. https://doi.org/10.18662/rrem/14.4/626

УДК 373.3.016:612.821

Маріанна Швардак, доктор педагогічних наук,
професор, професор кафедри педагогіки дошкільної,
початкової освіти та освітнього менеджменту,
Каріна Попович, здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності А3 Початкова освіта
Мукачівський державний університет, м. Мукачево, Україна

НЕЙРОПЕДАГОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ КЛЮЧОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ ПОЧАТКОВОЇ ШКОЛИ

Анотація. У тезах обґрунтовано доцільність впровадження нейропедагогічного підходу в освітній процес початкової школи як інструменту формування ключових компетентностей учнів. Проаналізовано роль нейропластичності мозку та функцій вчителя як «нейронного архітектора» у створенні стимулюючого навчального середовища. Описано практичне значення нейровправ, нейроігор та кінезіологічних методів для розвитку когнітивної сфери, зниження тривожності та підвищення рівня шкільної адаптації молодших школярів.

Ключові слова: нейропедагогіка, ключові компетентності, початкова освіта, нейровправи, когнітивний розвиток, Нова українська школа.

Abstract. The theses substantiate the feasibility of implementing a neuropedagogical approach in the educational process of primary school as a tool for forming students' key competencies. The role of brain neuroplasticity and the teacher's function as a "neural architect" in creating a stimulating learning environment are analyzed. The practical significance of neuro-exercises, neuro-games, and kinesiological methods for the development of the cognitive sphere, reduction of anxiety, and increasing the level of school adaptation of primary school students is described.

Keywords: neuropedagogy, key competencies, primary education, neuro-exercises, cognitive development, New Ukrainian School.

Сучасна трансформація системи початкової освіти в Україні, зумовлена реалізацією концепції «Нова українська школа», вимагає від педагогів пошуку та впровадження інноваційних технологій, що ґрунтуються на глибокому розумінні психофізіології дитини [4]. Одним із найперспективніших напрямів у цьому контексті є нейропедагогіка, яка виступає міждисциплінарною галуззю, що

об’єднує досягнення нейронаук, психології та педагогіки для вдосконалення дидактичних методів. В основі нейропедагогічного підходу лежить принцип мозок-орієнтованого навчання, який дозволяє будувати освітній процес з урахуванням індивідуальних особливостей функціонування мозкових структур дитини, що є фундаментом для формування ключових компетентностей [2].

Центральним поняттям, яке визначає ефективність нейропедагогічних технологій, є нейропластичність – здатність мозку змінюватися та зміцнювати синаптичні зв’язки під впливом нового досвіду, гри та цілеспрямованої активності. Вчитель початкових класів у цій парадигмі постає як «нейронний архітектор», чиї методичні рішення безпосередньо впливають на формування нейронних мереж учнів, відповідальних за навчання та поведінку [3]. У молодшому шкільному віці, коли відбувається активне дозрівання префронтальної кори та першого функціонального блоку мозку (блоку саморегуляції), використання нейропедагогічних засобів стає критично важливим для успішної соціалізації та подолання когнітивних труднощів.

Практичне впровадження нейропедагогічних технологій передбачає інтеграцію спеціальних нейровправ та нейроігор у структуру уроків та перерв. Такі активності, як «нейродоріжки», «лабіринти» та вправи на одночасну роботу обох рук («Букви на пальцях»), сприяють синхронізації півкуль головного мозку, покращують міжпівкульну взаємодію та стимулюють розвиток дрібної моторики. Синергія нейроігор з кінезіологічними методами («Гімнастика для мозку») забезпечує комплексний розвиток психофізичних функцій, що безпосередньо корелює із підвищенням концентрації уваги, обсягу пам’яті та швидкості переробки інформації [1]. Це створює надійну базу для формування математичної, мовної та природничої компетентностей учнів.

Емпіричні дослідження підтверджують, що реалізація нейропсихологічних програм у початковій школі призводить до прогресивного зростання пізнавальної компетентності та покращення показників психоемоційного стану дітей. Зокрема,

зафіксовано статистично значущі позитивні зрушення в показниках оригінальності та глибини мислення, а також зростання планомірності й організованості навчальної діяльності учнів. Окрім когнітивного аспекту, нейропедагогічні технології виступають потужним засобом емоційної саморегуляції, дозволяючи знижувати рівень шкільної тривожності та підвищувати стресостійкість у фруструючих ситуаціях.

Таким чином, нейропедагогіка дозволяє створити психологічно безпечне освітнє середовище, де кожен учень отримує можливість максимально розкрити свій внутрішній потенціал, що є ключовою метою сучасної освіти.

Список використаних джерел

1. Васьківська Г. Синергія нейроігор та кінезіологічних вправ у корекційній роботі. *Педагогічний вісник Поділля*. 2024. № 1-2. С. 168-171.
2. Швардак М., Іванова В. Підготовка вихователів до партнерської взаємодії з батьками дітей раннього віку на засадах нейропедагогічного підходу. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету*, 2026, №74, С. 254–261. https://doi.org/10.31909/26168812.2026-(74)-26.254-261
3. Friedman L., et al. Neuropedagogy: from neurons to teaching and learning. *Frontiers in Education*. 2019. Vol. 4. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1774900
4. Nikulochkina O., Teslenko T., Kokhanko O., Sevastiuk M., Yankovska I., Teletska L. Neuro-Pedagogical Aspects of Forming the Professional Competence of Elementary School Teachers and Their Interaction with Students. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensional*. 2022. №14(4Sup.1). P. 128-154. https://doi.org/10.18662/rrem/14.4Sup1/663

УДК 378.016:51:159.955(043.2)

Ольга Швай, кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри математичного аналізу та статистики
Волинського національного університету
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ЯК ЗАСОБУ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ

Анотація. У тезах обґрунтовано методику підготовки майбутніх учителів математики до конструювання авторських прикладних задач як засобу розвитку критичного мислення учнів НУШ. Описано триетапну систему проєктування дидактичного матеріалу та окреслено роль інструментів динамічної математики (GeoGebra, Desmos) у візуалізації життєвих кейсів. Особливу увагу приділено специфіці розроблення завдань із національно-патріотичним змістом в умовах воєнного стану для формування громадянської стійкості та національної ідентичності здобувачів освіти.

Ключові слова: майбутні вчителі математики, прикладні задачі, критичне мислення, цифрові інструменти.

Abstract. The abstract substantiates the methodology of training pre-service mathematics teachers in designing original applied problems as a means of developing critical thinking skills in students of the New Ukrainian School. It describes a three-stage system for designing didactic materials and outlines the role of dynamic mathematics tools (GeoGebra, Desmos) in the visualization of real-life cases. Particular attention is paid to the specifics of developing problems with national-patriotic content under martial law to foster civic resilience and national identity among learners.

Keywords: pre-service mathematics teachers, applied problems, critical thinking, digital tools.

Важливим завданням Нової української школи в умовах сучасних викликів є формування у здобувачів освіти критичного мислення, яке вважається запорукою життєвого успіху в XXI столітті [1]. Математика має унікальний потенціал для його розвитку, адже привчає до строгості міркувань, аналізу причинно-наслідкових зв’язків та пошуку оптимальних стратегій для розв’язання поставлених завдань. Проте традиційне навчання, орієнтоване на репродуктивне відтворення алгоритмів,

не вчить учнів переносити математичний апарат у практичну діяльність та повсякденне життя [2]. Вважаємо, що ефективним інструментом подолання цієї проблеми є розв'язування прикладних задач. Саме під час розв'язування прикладних задач школярі навчаються вдумливо аналізувати інформацію, яку отримали; відсіювати надлишкові дані; критично оцінювати реалістичність отриманих результатів; виявляти маніпуляції у статистиці чи медіаграфіках тощо.

Оскільки контент підручників та посібників з математики не завжди встигає за стрімким розвитком інформаційного простору, сучасний вчитель не може обмежуватися лише ними. Говорячи про професійне становлення педагога акцентуємо увагу на тому, що майбутні вчителі математики повинні вміти самостійно проєктувати, модифікувати та впроваджувати автентичні прикладні завдання, що відповідають актуальним запитам сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про значний інтерес науковців до проблеми формування критичного мислення (О. Клочко, Я. Чкана, О. Мартиненко та ін.) та впровадження прикладного спрямування математики (Н. Тарасенкова, С. Раков та ін.) [2, 3, 4]. Проте методика цілеспрямованої підготовки майбутніх учителів математики до конструювання авторських прикладних задач як засобу розвитку критичного мислення учнів потребує подальшого розроблення та систематизації.

Метою доповіді є обґрунтування методичних підходів та практичного досвіду підготовки майбутніх учителів математики до конструювання прикладних задач, спрямованих на розвиток критичного мислення школярів.

Вважаємо, що методичну підготовку студентів до формування критичного мислення школярів доцільно здійснювати за такими етапами:

1. *Критичний аналіз наявного дидактичного матеріалу.* На цьому етапі майбутні вчителі математики вчаться розпізнавати «псевдоприкладні» задачі, які трапляються в шкільних підручниках та посібниках й містять відірваний від реальності контекст.

2. *Трансформація абстрактних математичних алгоритмів у життєві кейси*. Студенти опановують методику переформатування стандартних завдань шляхом введення в умову надлишкових, суперечливих або неповних даних. Роль таких задач – налаштування учнів на активну розумову діяльність, розвиток у школярів умінь критично оцінювати інформацію; виокремлювати головне; шукати відомості, яких не вистачає для розв'язування завдань.

3. *Конструювання авторських задач.* У процесі підготовки майбутніх учителів особлива увага приділяється створенню завдань, що містять приховані логічні помилки або некоректно побудовані графіки й діаграми, запозичені з реального медійного простору. Робота з такими кейсами вчить майбутніх педагогів показувати учням математику як інструмент інтелектуальної безпеки та захисту від інформаційних маніпуляцій.

Важливим складником методики є також інтеграція цифрових інструментів динамічної математики, зокрема GeoGebra та Desmos. Студенти вчаться створювати інтерактивні моделі, які дозволяють школярам візуалізувати прикладний зміст задачі, експериментувати з її параметрами та оцінювати реалістичність результатів, спостерігаючи, як зміна однієї змінної впливає на функціонування всієї системи.

Особливого значення в умовах воєнного стану набуває конструювання задач із національно-патріотичним змістом. Майбутні вчителі навчаються розробляти завдання на основі відкритих даних про волонтерський рух, логістику гуманітарної допомоги чи розрахунки для потреб відбудови країни. Такі задачі демонструють пряме застосування математичного апарату для розв'язання життєво важливих питань, сприяючи формуванню громадянської стійкості та національної ідентичності школярів.

Відмітимо, що на етапі конструювання авторських задач надзвичайно важливим є глибокий методичний аналіз кожної задачі щодо її доцільності та пізнавальної і практичної значущості.

Наші дослідження свідчать, що цілеспрямоване залучення майбутніх педагогів до конструювання прикладних задач не лише підвищує їхню предметну та методичну компетентність, а й безпосередньо розвиває їхнє власне критичне мислення та дослідницькі навички.

Список використаних джерел

1. Пометун О.І. Критичне мислення як педагогічний феномен. *Український педагогічний журнал.* 2018. № 2. С. 89–98.
2. Чкана Я., Мартиненко О. Критичне мислення як важлива складова математичної компетентності майбутніх учителів математики. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2023. Т. 11, № 5. С. 102-107. https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol11i5-015
3. Клочко О.В. 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*. 2024. №. 72. С. 14–26. https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-14-26
4. Тарасенкова Н. А. Задачі як засоби компетентнісного навчання математики. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі*. 2017. № 19. С. 31–37.

УДК 373.3.016:612.821]:82-93

Оксана Фенцик, кандидат педагогічних наук, доцент,
професор кафедри педагогіки дошкільної, початкової освіти
та освітнього менеджменту,
Олеся Тиводар, здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності А3 Початкова освіта
Мукачівський державний університет, м. Мукачево, Україна

РОЗВИТОК ЕМОЦІЙНОГО ІНТЕЛЕКТУ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ ЗАСОБАМИ ХУДОЖНЬОГО СЛОВА (НА МАТЕРІАЛІ СУЧАСНОЇ ДИТЯЧОЇ ЛІТЕРАТУРИ)

Анотація. У тезах розкрито науково-теоретичні та методичні засади розвитку емоційного інтелекту учнів початкової школи через роботу з художнім текстом. Проаналізовано роль сучасної дитячої літератури початку XXI століття як засобу формування емпатії, саморегуляції та здатності до вербалізації емоційних станів персонажів. Виокремлено та деталізовано ефективні методичні прийоми (колесо емоцій, словник почуттів, рольові ігри), що сприяють гармонізації внутрішнього світу дитини в умовах сучасних соціокультурних викликів.

Ключові слова: емоційний інтелект, молодші школярі, художнє слово, сучасна дитяча література, емпатія, емоційна грамотність.

Abstract. The theses reveal the scientific-theoretical and methodical foundations of the emotional intelligence development of primary school students through work with artistic text. The role of contemporary children's literature of the early 21st century is analyzed as a tool for forming empathy, self-regulation, and the ability to verbalize characters' emotional states. Effective methodological techniques (emotion wheel, vocabulary of feelings, role-playing games) are identified and detailed, contributing to the harmonization of the child's inner world in the context of modern socio-cultural challenges.

Keywords: emotional intelligence, primary school students, artistic word, contemporary children's literature, empathy, emotional literacy.

В умовах динамічних змін та реформування Нової української школи емоційний інтелект розглядається як фундаментальна складова ключових компетентностей особистості, що безпосередньо впливає на успішність соціалізації, здатність до саморегуляції та ефективної комунікації [3]. Державний

стандарт початкової освіти регламентує збагачення емоційно-чуттєвого досвіду школярів, що найповніше реалізується у мовно-літературній освітній галузі [5]. Молодший шкільний вік є сенситивним («золотим») періодом для цілеспрямованого розвитку емоційної сфери, оскільки саме в цей час дитячий мозок є найбільш пластичним до засвоєння емоційних реакцій, а безпосередність сприйняття дозволяє глибше закладати основи моральних уявлень. Художня література виступає унікальною «соціальною лабораторією», де дитина через ідентифікацію з персонажами отримує можливість безпечного емоційного занурення у складні життєві ситуації [6].

Сучасна дитяча література початку XXI століття пропонує багатий арсенал для розвитку емотивної компетенції учнів. Твори таких авторів, як Г. Вдовиченко, Г. Вебб, М. Павленко, Г. Малик, орієнтовані на актуальні запити дитини цифрової епохи, допомагаючи їй розширювати власний «емоційний словник» та ідентифікувати складні почуття через образи тварин чи однолітків. Вживання емоційно забарвленої лексики та найпростіших тропів (епітетів, метафор) дозволяє школярам точніше вербалізувати власні переживання. Особливого значення мистецтво художнього слова набуває в умовах воєнного стану, коли дитяча книга стає інструментом психологічної підтримки, допомагає долати тривогу та формує стійкість через співпереживання героям, чиї долі перегукуються з реальним досвідом учнів [4].

Ефективність розвитку емоційного інтелекту забезпечується впровадженням системної методики, що поєднує аналіз тексту з інтерактивними та арт-техніками. Використання моделі «Колесо емоцій» Р. Плутчика дозволяє школярам відстежувати динаміку станів персонажів, розрізняти відтінки почуттів (від радості до гніву) та проектувати ці знання на власний емоційний досвід [3]. Складання «Словника емоцій» та ведення «Емоційного щоденника читача» сприяє вербалізації внутрішніх станів, які молодшим школярам часто важко означити самостійно через обмежений лексикон [1]. Такі прийоми, як «Емоційна карта

твору» або «Лінія емоцій», наочно демонструють зміну настрою героя протягом сюжету, вчать бачити причинно-наслідкові зв'язки між подіями та реакціями [2].

Розвитку емпатії сприяють рольові методики та театралізація, зокрема прийоми «Інтерв'ю з персонажем», «Актори» чи «Емоційний театр», де учні за допомогою міміки та жестів відтворюють внутрішній світ героїв. Завдання творчого характеру, такі як створення альтернативного фіналу («Може бути й інакше») чи написання листів героям, стимулюють рефлексію та вчать приймати відповідальні рішення [2; 5]. Використання арт-технік (малювання «емоційних монстриків», створення «живих картин») у поєднанні з читанням казок дозволяє гармонізувати емоційний стан дитини та трансформувати когнітивні знання про емоції у стійку компетентність особистості [5].

Таким чином, системна робота над художнім словом у початковій школі створює оптимальне підґрунтя для формування емоційно зрілої особистості, здатної до успішної самореалізації.

Список використаних джерел

1. Вашуленко О. В. Емоційно-ціннісний розвиток молодших школярів на уроках літературного читання. *VII Волошинські читання*. 2019. С. 277–283.
2. Вірста С., Жалко Т., Гончарук О. Формування емоційного інтелекту на уроках літературного читання в початковій школі. *Інноватика у вихованні*. 2022. № 15. С. 164–172. https://doi.org/10.35619/iiu.v1i15.442
3. Доброскок С. О. Розвиток емоційного інтелекту здобувачів освіти засобами мовно-літературної освіти. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 21. https://doi.org/10.5281/zenodo.16785680
4. Кравцова І. Вплив мистецтва дитячої літератури на формування емоційної культури молодших школярів в умовах війни. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2024. № 5(139). С. 18–27. https://doi.org/10.24139/2312-5993/2024.05/018-027
5. Підгурська В., Голубовська І. Розвиток емоційного інтелекту здобувачів освіти на уроках мовно-літературної освітньої галузі. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2024. Вип. 72, т. 3. С. 269–275.
6. Розман І. І., Щербан Т. Д., Карташова Л. А. Вплив художнього тексту на розвиток емпатії: сприйняття інформації в умовах цифрового освітнього

середовища. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 25. https://doi.org/10.5281/zenodo.18209776

УДК 519.816:681.5

Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проєктування,
Максим Супрун, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проєктування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проєктування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗРОБЦІ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИЗАЙНЕРСЬКИЙ ВИРОБІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Анотація. В роботі розглянута можливість застосування інформаційних технологій проектування для технологічної підготовки виробництва дизайнерських виробів в рамках виконання курсового проекту. Авторами запропонована методика отримання керуючих програм під фрезерувальний верстат з ЧПУ для обробки функціональних деталей ливарного оснащення при виробництві дизайнерської ПЕТ-тари.

Ключові слова: пластикова ПЕТ-тара, термопласт, напівформа, фрезерна обробка, траєкторія обробки поверхні.

Abstract. The paper considers the possibility of using information technology design for technological preparation of the production of designer products within the framework of the course project. The authors propose a method for obtaining control programs for a CNC milling machine for processing functional parts of foundry equipment in the production of designer PET containers.

Keywords: Plastic PET containers, thermoplastic, semi-form, milling, surface treatment trajectory.

Дана робота є продовженням теоретичної та практичної підготовки фахівців з прикладної механіки в рамках виконання курсового проекту з дисципліни «Інформаційні технології у виробництві» за темою «Проектування дизайнерських промислових виробів» і присвячена набуттю навичок створення керуючих програм

обробки складних функціональних поверхонь ливарного оснащення для виготовлення промислових виробів з полімерних матеріалів.

Для створення керуючої програми обробки складових частин прес-форми для виготовлення дизайнерської ПЕТ-тари за основу були взяті тривимірні моделі формоутворюючих вставок ливарного оснащення, створених при виконанні курсового проекту з дисципліни «Промисловий дизайн» (рис. 1).

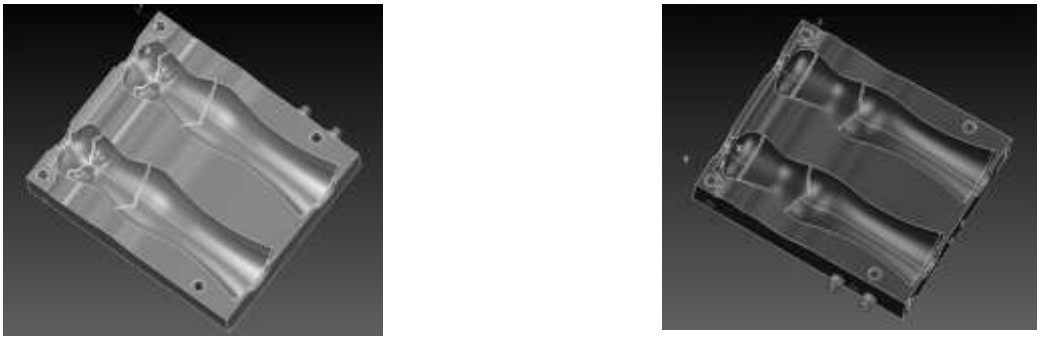


Рис. 1. Верхня та нижня формоутворюючі вставки

Формоутворюючі вставки являють собою вироби складної форми, отримати які без використання верстатів з ЧПУ практично неможливо. Тому на наступному етапі модель прес-форми була імпортована в PowerMILL, в систему підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПУ. Після чого по даній моделі в PowerMILL була створена керуюча програма, в якій описуються траєкторії обробки кожної з частин прес-форми.

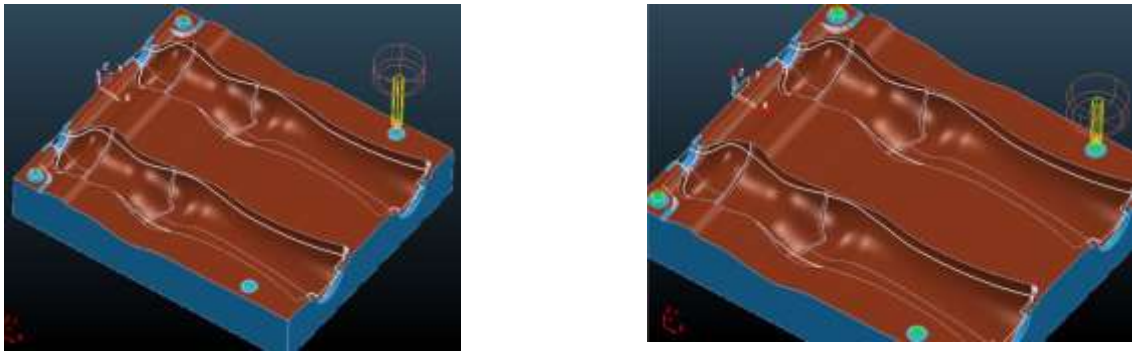
Для фрезерування формотворчих вставок був обраний вертикальний обробний центр верстат серії FV56T виробника YEONG CHIN MACHINERY INDUSTRIES CO.

Обраний верстат має необхідні габарити робочої зони, достатня кількість місць в інструментальному магазині, дозволяє виробляти 3-осьову обробку.

Для обробки першої матриці були створені траєкторії руху інструменту:

1. Свердління отворів під кріплення штифтами (рис. 2а);

2. Обробка отворів під кріплення штифтами (рис. 2б);

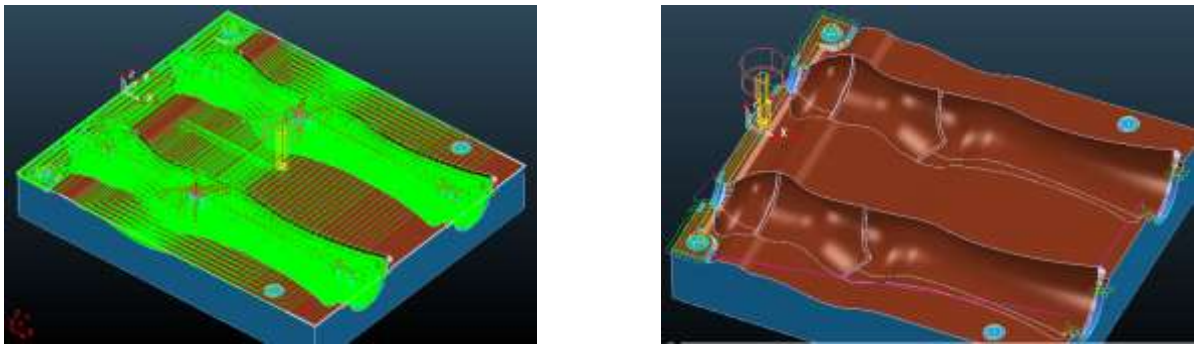


а) б)

Рис. 2. Створення та обробка отворів під кріплення штифтами

3. Чорнова обробка поверхні (рис. 3а);

4. Чистова обробка поверхні під кріплення (рис. 3б);

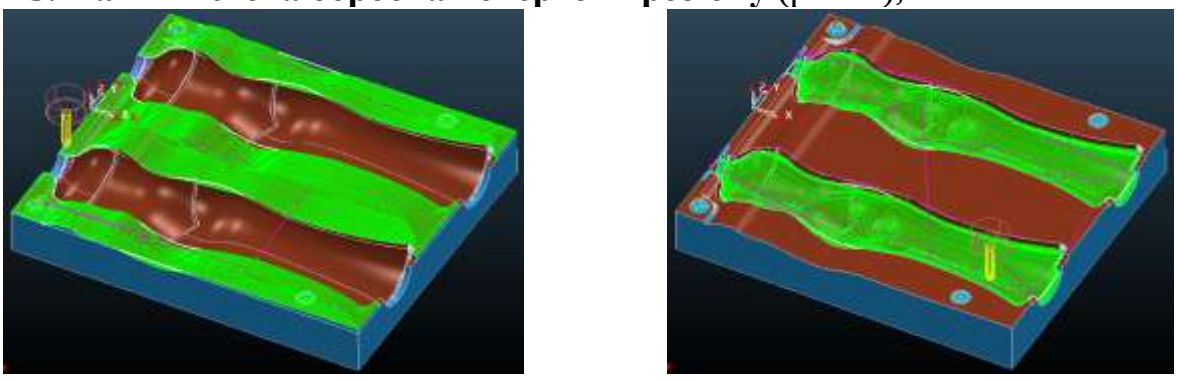


а) Траєкторія чорнової обробки поверхні першої матриці

б) Траєкторія чистової обробки під кріплення першої напівформи

Рис. 3. Траєкторії чорнової та чистової обробки першої напівформи

5. Напівчистова обробка поверхонь роз'єму (рис. 4);



Напівчистова обробка поверхні прилягання

Напівчистова обробка робочої поверхні моделі

Рис. 4. Траєкторії напівчистової обробки поверхні роз'єму першої напівформи та формрутворючої поверхні першої матриці

6. Чистова обробка поверхні роз'єму формоутворюючої поверхні;

Траєкторія чистової обробки показана на рис. 5-8.

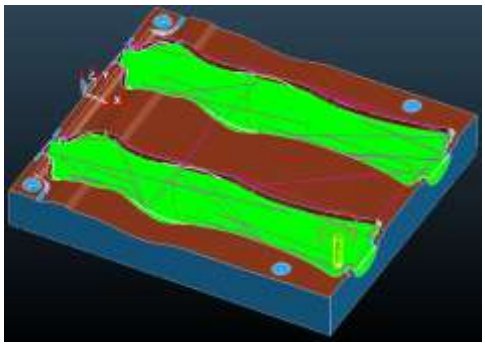


Рис. 5. Траєкторія чистової обробки формоутворючої поверхні першої напівформи

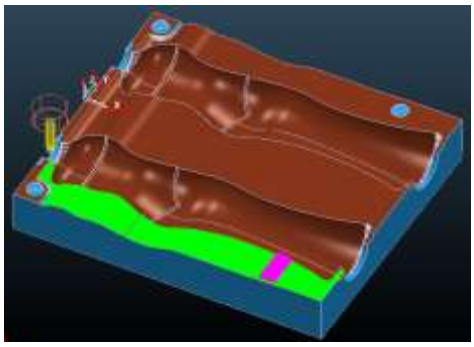


Рис. 6. Траєкторія чистової обробки поверхні роз'єму першої матриці

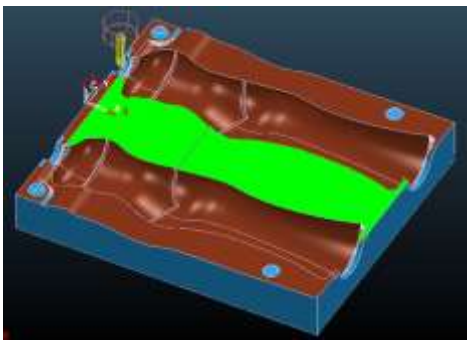


Рис. 7. Траєкторія чистової обробки поверхні роз'єму першої напівформи

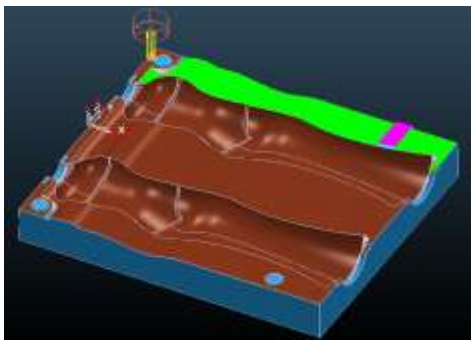


Рис. 8. Траєкторія чистової обробки поверхні роз'єму першої матриці

7. Чистове доопрацювання поверхні (рис. 9).

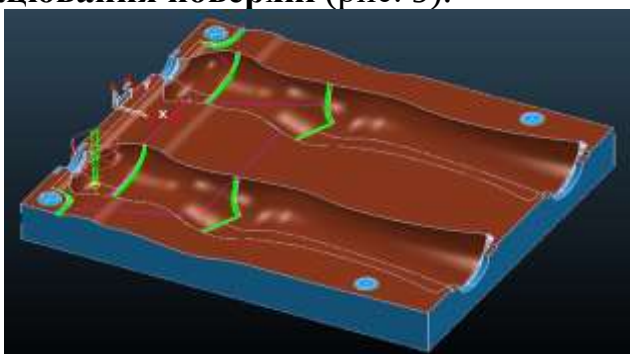


Рис. 9. Траєкторія чистового доопрацювання поверхні «уздовж кута»

У таблиці 1 вказано час обробки першої матриці.

Таблиця 1. Час обробки першої матриці

Траекторія	Час
Свердлення отворів під кріплення штифтами	0:01:21
Обробка отворів під кріпленрня штифтами	0:05:42
Чорнова обробка поверхні	2:05:14
Чистова обробка площини під кріплення	0:01:20
Напівчистова обробка поверхонь роз'єму Получистовая обработка поверхности разъема, формоутворюючої поверхні	1:00:25
Чистова доробка поверхні	0:33:46
Чистова обробка поверхні роз'єму формоутворюючої поверхні	5:46:12
Чистова доробка	0:07:06
Всього	8:01:03

За аналогічною технологією виконано моделювання фрезерної обробки другої напівформи матриці та дна матриці.

Висновок. В роботі було розроблено технологію виготовлення Пет-тари. Зовнішній вигляд прес-форми для виробництва тари представлений на рис. 10. У ході виконання роботи використовувалися засоби автоматизованого проєктування і розробки керуючих програм: PowerSHAPE, PowerMILL.

Поверхневе моделювання є найбільш сильною стороною програми PowerSHAPE. Побудова поверхонь стала набагато простіша, і в той же час збереглися усі можливості редагування форми.

З програмою PowerMILL можливе створення таких програм, які забезпечать високу продуктивність обробки верстата з ЧПУ при абсолютній упевненості в надійності програм, вільних від складок і зайвих холостих ходів. Програми дозволяють по максимуму використати усі можливості сучасних високошвидкісних верстатів і систем ЧПУ. PowerMILL дає вирішальні переваги для досягнення високої продуктивності при забезпеченні високої якості.

Рис. 10. Готові формоутворюючі напівформи

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т.1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13
2. Мацулевич О.Є., Вершков О.О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12
3. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082
4. Мацулевич О. Є., Щербина В. М. Використання пакету прикладних програм NETCRACKER. *Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях:* матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конференції з міжнар. участю, м. Мелітополь, 11-13 вересня 2017 р., присвяченої 85-річчю кафедри вищої математики і фізики ТДАТУ. Мелітополь, 2017. С. 107-108.
5. Мацулевич О. Є., Ніконенко О. А. Методика створення імітації роботи промислових технічних виробів та систем: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції магістрантів і студентів ТДАТУ (присвячується 80-річчю Запорізької області за підсумками наукових досліджень 2018 року): збірник тез доповідей, м. Мелітополь, 19-23 листопада 2018 р. Меплітополь: ТДАТУ, 2018. С.32
6. Щербина В. М., Холодняк Ю. В., Івженко О. В. Впровадження комп'ютерної графіки в навчальний процес при підготовці фахівців інженерних спеціальностей.

Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти. 2020. Вип. 24. С. 554-558.
7. Мацулевич О. Є., Зінов'єва О. Г. Розв'язання задач аналізу тренд-сезонних часових рядів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19(2). С. 264-270

УДК 519.816

Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проєктування,
Ольга Зінов'єва, старший викладач кафедри
комп'ютерних наук,
Андрій Алексєєв, здобувач першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МЕТОДИКА ВИБОРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ PRIMEDECISION

Анотація. В роботі розглядається можливість застосування методології PRIME, яке дозволило сформувати науково обґрунтовані рекомендації щодо використання системи SolidWorks для технологічної підготовки виробництва деталі «Корпус розподільного вала». Отриманий результат є повністю верифікованим, оскільки використаний математичний апарат забезпечує не лише виявлення пріоритетної альтернативи, а й побудову чіткої рейтингової моделі кожного критерію в межах загального дослідження.

Ключові слова: методологія PRIME, верифікація результатів, математичний апарат, пріоритетна альтернатива, рейтингова модель, критерії.

Abstract. The paper considers the possibility of using the PRIME methodology, which allowed the formation of scientifically sound recommendations on the use of the SolidWorks system for technological preparation of the production of the part «Camshaft housing». The result obtained is fully verified, since the mathematical apparatus used ensures not only the identification of the priority alternative, but also the construction of a clear rating model of each criterion within the framework of the general study.

Keywords: PRIME methodology, verification of results, mathematical apparatus, priority alternative, rating model, criteria.

Питання раціонального вибору певної системи автоматизованого проєктування для забезпечення управлінських рішень є пріоритетним завданням, що має виражений прикладний характер. Ключовою передумовою успіху в цій сфері є системна інтеграція інформаційних технологій. З огляду на інтенсивний

розвиток високотехнологічного промислового сектору, до показників якості та стабільності програмного забезпечення висуваються дедалі суворіші вимоги.

Широкий асортимент версій програмних пакетів створює для інженерів-проєктувальників складну задачу пошуку оптимального рішення на основі множини критеріїв. Попри те, що системи підтримки прийняття рішень (СППР) уже продемонстрували свою ефективність у сферах економіки та менеджменту, їхні можливості для розв’язання вузькоспеціалізованих технічних завдань наразі використовуються не в повному обсязі.

На сьогодні розроблено значну кількість методів багатокритеріального аналізу, серед яких найбільш відомими є метод аналізу ієрархій та експертне оцінювання. Водночас результати сучасних досліджень вказують на зростання затребуваності ітераційних методів, зокрема підходу PRIME (співвідношення переваг у багатокритеріальному оцінюванні), що дозволяє враховувати відносні пріоритети при виборі альтернатив.

Prime Decision виступає як аналітичний інструментарій, розроблений для підтримки процесів прийняття рішень у випадках, коли вихідні дані для оцінки варіантів представлені у вигляді інтервалів. Фундаментом роботи цієї СППР є математичний метод дерев значень (рішень), що дозволяє структурувати складні багаторівневі завдання вибору.

До фундаментальних структурних компонентів системи належать ієрархічне дерево значень (Value Tree), перелік доступних варіантів вибору (Alternative) та масив даних про пріоритетність (Preference Information). У межах цього дослідження можливості СППР Prime Decision застосовуються для визначення оптимальної системи автоматизованого проєктування, необхідної для розробки та виготовлення деталі «Корпус розподільного вала автомобіля GM Lanos».

Відповідно до методології PRIME, початковий етап дослідження передбачає чітке формулювання цілей, що стають основою для побудови дерева значень. На основі компаративного аналізу технічних характеристик провідних програмних

продуктів – SolidWorks, T-Flex та FreeCAD – було ідентифіковано вісім пріоритетних критеріїв оцінки. Процес структурування цих показників та візуалізація ієрархії завдань відображені на відповідному графіку побудови дерева рішень.

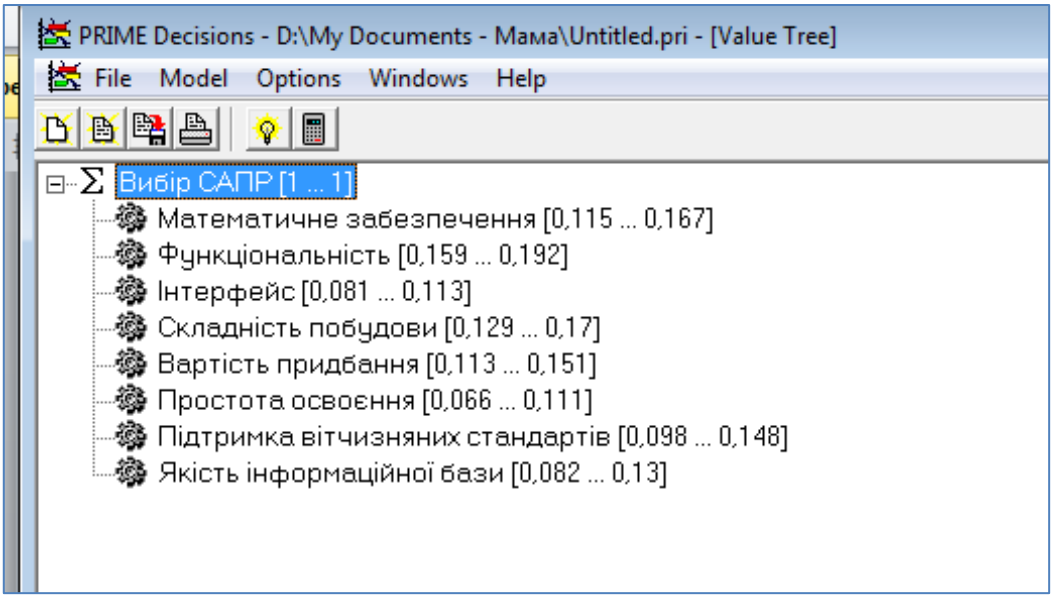


Рис. 1. Побудова дерева рішень

Подальший алгоритм роботи передбачає введення альтернативних показників для кожного з обраних критеріїв. Функціонал системи дозволяє ефективно оперувати змішаними даними, поєднуючи як чіткі кількісні метрики, так і якісні експертні параметри. Процедура формування цих альтернатив та встановлення їхніх ваг дозволяє отримати структуровану картину переваг для кожного варіанта.

Для проведення ранжування критеріїв застосовується метод еталонного оцінювання. Найбільш вагомому показнику, яким у даному дослідженні визначено «функціональність», присвоюється максимальне значення 100 одиниць. Решта параметрів оцінюється за регресивною шкалою, де кожна наступна оцінка визначається відповідно до рівня її значущості відносно еталона, забезпечуючи логічну послідовність пріоритетів у межах аналітичної моделі.

Для генерації результатів моделювання використовується команда Calculate Model. Аналіз отриманих даних здійснюється через такі вікна:

1) Value Intervals (діапазони значень);
2) Weights (вагові коефіцієнти);
3) Dominance (показники домінування);
4) Decision Rules (логічні правила вибору).

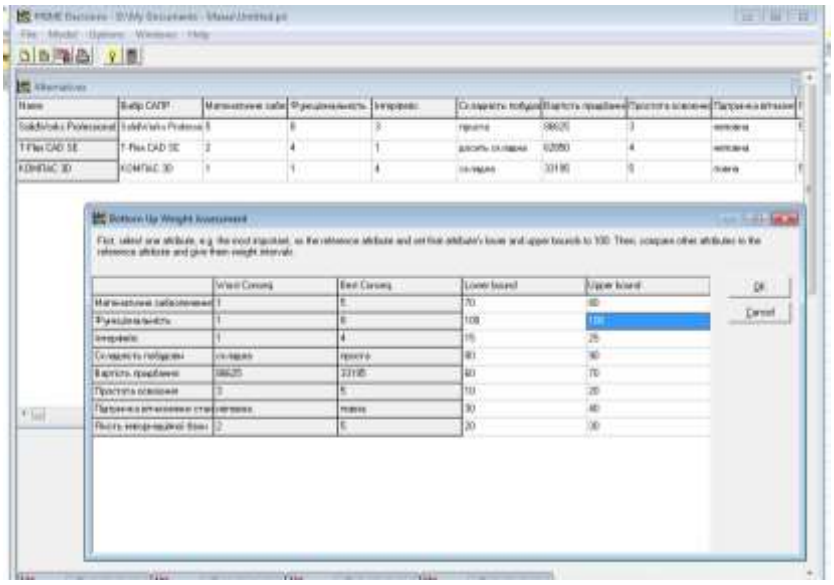


Рис. 2. Формування альтернатив та визначення їх переваг в Prime Decision

Кожна аналізована альтернатива характеризується специфічним інтервалом значень для кожного окремого атрибута та генеральної мети дослідження. Вагові коефіцієнти відображають відносну значущість кожного показника в загальній структурі ієрархії. Особливого значення набуває показник домінування, який фіксує перевагу однієї альтернативи над іншою, що є критично важливим у ситуаціях перекриття інтервальних значень. Відповідні правила вибору дозволяють особі, що приймає рішення, чітко ідентифікувати найбільш раціональний варіант.

Результати аналізу матриці впливу (рис. 3) демонструють лідерство програмного пакета SolidWorks. Це підтверджується відповідними індикаторами в рядку даної альтернативи, які свідчать про її стабільну перевагу над іншими порівнюваними об’єктами за більшістю параметрів.

Аналітичний комплекс PrimeDecision дозволяє здійснювати перевірку результатів за п’ятьма базовими стратегіями вибору: maximax, maximin, central values, minimax regret та possible lost. Прикметно, що за кожним із зазначених критеріїв найвищу рейтингову оцінку отримала система SolidWorks (рис. 4).

Рис. 3. Матриця впливу (попарного порівняння) в PrimeDecision

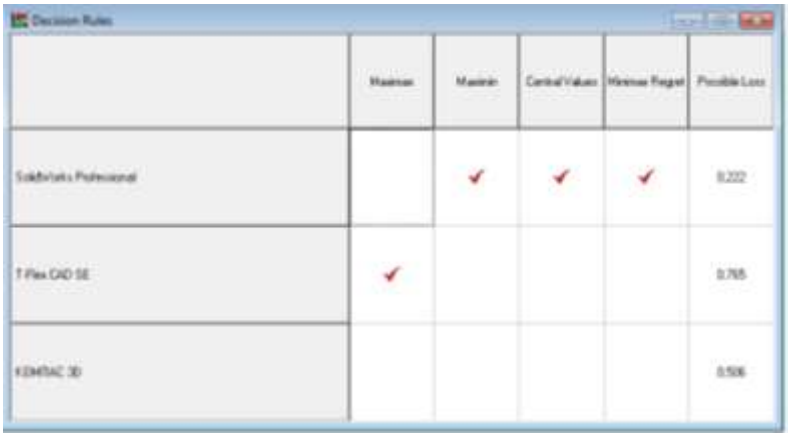


Рис. 4. Оцінка систем автоматизованого проектування

Таким чином, за результатами проведеного багатофакторного аналізу найбільш ефективним інструментом для проєктування та виготовлення корпусу розподільного вала автомобіля GM Lanos визначено САПР SolidWorks.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О.Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи TechnologiCS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, том. 1 https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13

2. Мацулевич О. Є., Вершков О. О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12
3. Alrefo, I.F., Rawashdeh, M.O., Matsulevych, O.,VershkovO.,Halko, S., Suprun, O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072
4. Alrefo, I.F., Matsulevych, O., Vershkov, O., Halko, S., Suprun, O., Miroshnyk, O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082
5. Паляничка Н. О., Вершков О. О., Антонова Г. В. Аналіз новітніх пристроїв для гомогенізації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. , 2017.Вип. 17, т. 3. С. 194-200.
6. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення Adobe Audition. *Розвиток сучасної науки та освіти* :матеріали IV Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
7. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих программ токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації :* матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
8. Зінов'єва О.Г. Методика знаходження максимального потоку в мережі за допомогою пакета MAPLE. *Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях:* матер. Всеукраїнської наук. - практ. конф. з міжнародною участю - Мелітополь: ТОВ «КолорПринт», 2017. С. 49-52.
9. Зінов'єва О.Г. Застосування пакету MAPLE для розв'язання задач теорії ігор. *Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях:* матер. Всеукраїнської наук. - практ. конф. з міжнародною участю - Мелітополь: ТОВ «КолорПринт», 2017. - с.49-52
10. Мацулевич О. Є., Зінов'єва О. Г. Розв'язання задач аналізу трендсезонних часових рядів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2019. Вип. 19(2). С. 264-270.

УДК 37.091.12:004](485)

Володимир Крячко, кандидат соціологічних наук,
старший науковий співробітник відділу
зарубіжних систем професійної освіти
Інституту професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ У ШВЕЦІЇ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

Анотація. На основі аналізу наукових та інформаційних джерел експліковано деякі особливості забезпечення якості професійної освіти у Швеції в умовах сучасних викликів. Схарактеризовано деякі інноваційні педагогічні методи, які набули популярності у Швеції.

Ключові слова: якість, професійна освіта, Швеція.

Abstract. Based on the analysis of scientific and information sources, some features vocational education quality assurance in Sweden in the context of modern challenges are explicated. Some innovative pedagogical methods that have gained popularity in Sweden are characterized.

Keywords: quality, vocational education, Sweden.

Система забезпечення якості професійної освіти і підготовки (ПОП) у Швеції є складною та багаторівневою структурою. «Новий Закон про освіту – для знань, вибору та безпеки» (Урядовий законопроект 2009/10:165) був схвалений парламентом у червні 2010 року та діє з 1 липня 2011 року. Закон про освіту надає Шведській шкільній інспекції чітку правову основу для її нагляду. Було запроваджено шкалу санкцій, де амбіцією, наскільки це можливо, є встановлення однакових санкцій проти муніципальних та незалежних шкіл, що фінансуються грантами. Було посилено правила, що регулюють роботу Шведської шкільної інспекції (Skolinspektionen), щоб посилити її повноваження щодо здійснення чіткого та ефективного нагляду та дозволити їй накладати штрафи на державні та приватні відповідальні органи, а також використовувати інші санкції. Було запроваджено нові положення щодо систематичних процедур підвищення якості

(які мають бути задокументовані), тоді як попередні вимоги до звітів про оцінку якості та муніципальних шкільних планів були скасовані. Це означає, що кожен орган, відповідальний за школи, повинен систематично та постійно планувати, контролювати та розвивати свої освітні послуги. Основна увага приділяється досягненню національних цілей у сфері освіти. Оцінювання вчителів не регулюється законом. Однак, весь шкільний персонал регулярно проводить діалоги з директором школи щодо індивідуального розвитку, а заробітна плата встановлюється індивідуально відповідно до правил ринку праці.

Усі керівні органи шкіл у Швеції зобов'язані за законом мати систематичний процес забезпечення якості. Заходи щодо забезпечення якості не регулюються детально, але школи зазвичай використовують такі показники, як середні оцінки, рівень участі, рівень завершення навчання та рівень працевлаштування у своєму аналізі. Більшість організаторів також опитують думки своїх учнів щодо освіти, обладнання та їхнього благополуччя. Відповідальність за нагляд та аудит якості як у старшій середній школі, так і в муніципальній освіті для дорослих покладається на Шведську шкільну інспекцію (Skolinspektionen). Регулярний нагляд за школами здійснюється на основі низки областей та пунктів оцінювання; аудит якості відстежує конкретну сферу. Професійно-технічна освіта і підготовка приділяє велику увагу як регулярному нагляду, так і аудиту якості. Структурована співпраця між постачальниками освіти та робочим місцем виявилася важливим фактором успіху в навчанні на робочому місці. Незважаючи на те, що постачальники освіти відповідають за проведення систематичної оцінки якості, уряд підтримує та стимулює розвиток якості у професійно-технічній освіті за допомогою різних ініціатив та спеціальних схем фінансування. Це може включати конкретні завдання, делеговані Шведському національному агентству, наприклад, розробку рекомендацій щодо навчання на робочому місці. Також уряд ухвалив рішення про широку схему фінансування, що складається з грантів школам, які бажають розвивати якість навчання на робочому місці.

З 2015 року у Швеції діє національна рамка кваліфікацій для навчання протягом усього життя (SeQF). SeQF базується на спільній європейській рамці кваліфікацій, Європейській рамці кваліфікацій (EQF), до якої входять багато країн. SeQF була приєднана до Європейської рамки кваліфікацій (EQF) у червні 2016 року. Як і EQF, SeQF має вісім рівнів. Ці рівні описані у формі результатів навчання, яких необхідно досягти на певному рівні. Описи є достатньо широкими та загальними, щоб відповідати багатьом різним типам кваліфікацій. Кваліфікації юридично регулюються у Швеції та видаються після формальної освіти (наприклад, шведська старша середня школа), і як такі, їм призначено рівень у SeQF.

Метою SeQF є підвищення ясності щодо рівня кваліфікації та того, що людина з певною кваліфікацією повинна знати, розуміти та вміти робити в різних формах освіти та секторах, у Швеції та на міжнародному рівні. Для міжнародних порівнянь EQF є ключем до порівняння з рамками та кваліфікаціями інших країн. SeQF – це відкрита рамка. Це означає, що вона також включає кваліфікації, які не регулюються законодавством, але демонструють результати навчання поза межами державної системи освіти, наприклад, безперервний професійний розвиток. Шведське національне агентство вищої професійної освіти відповідає за оцінювання цих кваліфікацій та їх розміщення в SeQF, коли навчальні заклади подають заявку на це. Шведське національне агентство вищої професійної освіти відповідає за Шведську рамку кваліфікацій.

У Швеції з 2020 року було запроваджено кілька заходів для підвищення якості та привабливості професійної освіти. Мережі вищої середньої професійної освіти були запущені як пробна ініціатива в Норрботтені в листопаді 2022 року та поступово розширилися до 10 регіонів у 2024 році. Їхня мета – сприяти обговоренням між зацікавленими сторонами вищої середньої професійної освіти в усіх типах шкіл, зосереджуючись на регіональних досягненнях, проблемах та рішеннях у професійній освіті, а також досягаючи консенсусу з питань, пов’язаних

з професійною освітою. З часом ці мережі прагнуть підвищити якість, рівність та загальну привабливість професійної освіти.

З 2023 року всі програми професійної освіти автоматично включають «факультативні» курси шведською та англійською мовами, які після завершення дозволяють здобувачам освіти отримати доступ до вищої освіти. Для підтримки стандартів професійної підготовки програми професійної освіти були розширені як за обсягом кредитів, так і за навчальним часом. Однак здобувачі освіти все ще мають можливість відмовитися від цих додаткових курсів. Ця зміна була впроваджена шляхом внесення поправки до Закону про освіту парламентом Швеції у квітні 2022 року.

Більше того, Національне агентство освіти Швеції отримало доручення у 2020 році розробити цифрові інструменти для навчальної та професійної орієнтації з метою посилення орієнтації в шкільній системі та надання більшій кількості учнів можливості робити усвідомлений вибір. У 2024 році агентство представило дванадцять цифрових інструментів для навчальної та професійної орієнтації, доступних на вебсайті Utbildningsguiden. Ці інструменти орієнтовані на здобувачів освіти, які обирають початкову або середню школу, опікунів, які шукають дошкільні заклади або школи для своїх дітей, дорослих, які шукають освіту або кар'єрні можливості, а також консультантів з питань навчання та кар'єри.

У 2023 році Шведське національне агентство вищої професійної освіти надало пріоритет програмам у таких сферах, як цифровізація, перехід на «зелені технології» (екотехнології), енергоефективність та охорона здоров'я. Помітною подією у 2023 році стала поява курсів, зосереджених на штучному інтелекті (ШІ), які становили близько 10% затверджених програм вищої професійної освіти. Більше того, з 2024/25 навчального року штучний інтелект вводиться як новий предмет у старших класах середніх шкіл та муніципальну освіту для дорослих, а з осені 2024 року штучний інтелект доступний як додатковий предмет для учнів інших програм.

У лютому 2025 року уряд Швеції офіційно розпочав свою національну стратегію STEM (наука, технології, інженерія та математика), яка охоплює всю систему освіти від дошкільних закладів до аспірантських досліджень. Ключовий контекст розвитку полягає у постановці конкретних цілей зарахування на програми STEM, реформах освітніх кредитів у вищій освіті та ініціативах щодо подолання гендерного розриву в технічних галузях. Стратегія відповідає потребі Швеції в більшій кількості людей з ґрунтовними знаннями в галузі STEM, щоб вирішити проблему дефіциту кваліфікованих кадрів у кількох сферах та продовжувати працювати над тим, щоб Швеція й надалі залишалася інноваційною технологічною країною на передовій.

Список використаних джерел

1. Cedefop, & Swedish National Agency for Education (Skolverket). (2023). Vocational education and training in Europe – Sweden: system description. In Cedefop, & ReferNet. (2024). *Vocational education and training in Europe: VET in Europe database – detailed VET system descriptions* [Database]. https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/vet-in-europe/systems/sweden-u3 (дата звернення 08.05.2026)
2. Cedefop. (2025). Vocational education and training policy briefs 2024 – Sweden. National VET policy developments 2023-24. https://data.europa.eu/doi/10.2801/9828106 (дата звернення 08.05.2026)
3. Qualification frameworks for Swedish qualifications and degrees. https://www.uhr.se/en/start/recognition-of-foreign-qualifications/enic-naric-sweden/qualification-frameworks-for-swedish-qualifications-and-degrees/ (дата звернення 08.05.2026)
4. Quality assurance. https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/eurypedia/sweden/quality-assurance (дата звернення 08.05.2026)

УДК 377.352

Тетяна Пятничук, кандидат педагогічних наук,
старший науковий співробітник
відділу змісту і технологій професійної освіти
Інституту професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ

Анотація. Ураховуючи сучасний стан в енергетиці України, особливо важливим є формування знань учнів закладів професійної освіти щодо видів та використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива. Застосування педагогічних технологій – інформаційно-комунікаційних, проблемного та кейс-методів при проведення занять уможливить їхню результативність.

Ключові слова: національний план дій, сонячна, вітрова, мала гідроенергетика.

Abstract. Considering the current state of the energy sector in Ukraine, it is especially important to form the knowledge of students of vocational education institutions about the types and use of renewable energy sources and alternative fuels. The use of pedagogical technologies - information and communication, problem-based and case methods - when conducting classes will enable their effectiveness.

Keywords: national action plan, solar, wind, small hydropower.

Одним із напрямів формування енергоефективної компетентності є дослідження нормативних документів України та систематизація знань учнів про сучасні технології з виробництва різних видів енергії, формування здатності визначати їхні переваги, вплив на довколищнє середовище та можливості використання в Україні, як складову професійної компетентності. З цією метою проведення занять доцільне в інтеграції сучасних педагогічних технологій, зокрема, інформаційно-комунікаційних, проблемного та кейс-методів.

Використовуючи проблемний метод, педагог представляє проблему енергозбереження та на початку заняття визначає запитання і завдання для вирішення учнями [1]:

– що ви знаєте про гідроенергетику та малу гідроенергетику?

– на вашу думку, які переваги має сонячна енергетика; чи знаєте приклади її використання;

– якою інформацією володієте про вітрову енергетику; морську вітроенергетику?;

– запропонуйте регіони України для використання сонячної, вітрової, геотермальної.

Для аналізу нормативних документів, зокрема розпорядження КМ України «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання» доцільно використовувати одиничні кейси, які формують вміння використовувати теоретичний матеріал опису ситуації в кейсі для аналізу теоретичних і практичних проблем; визначення незрозумілого або нового і формулювання питань [4].

Зміст кейса: Національний план передбачає можливості використання в Україні таких альтернативних видів енергії:

– *мала гідроенергетика*: у разі використання гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що дасть змогу розв’язати ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, а також підвищити стійкість енергосистеми [3]. Мікро-, міні- та малі гідроелектростанції можуть стати потужною основою енергозабезпечення для регіонів західної частини України. Для вирішення питань розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розроблення конструкцій гідротурбінного обладнання. Вітчизняні підприємства мають

необхідне виробниче оснащення для таких гідроелектростанцій вітчизняним обладнанням;

– *сонячна енергетика*. Перетворення сонячної енергії в електричну в умовах України доцільно здійснювати насамперед з використанням фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може задовольнити повністю не тільки потреби вітчизняних споживачів, але і представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції. Фотоелектричне обладнання може ефективно експлуатуватися протягом усього року, проте максимально ефективно - протягом семи місяців на рік (з квітня по жовтень) в південних регіонах та п’яти місяців на рік (з травня по вересень) - у північних. Зростання встановлених потужностей сонячної енергетики планується за рахунок встановлення генеруючих установок активними споживачами, в тому числі приватними домогосподарствами, а також у майбутньому громадськими енергетичними спільнотами та спільнотами споживачів відновлюваної енергії з метою забезпечення передусім власного споживання [3];

– в*ітрова енергетика***.** Україна має значний потенціал подальшого розвитку вітроенергетики. Найбільш перспективними для цього є південні та південно-східні регіони країни, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сучасних вітрових електроустановок сягає від 7 метрів за секунду і вище. Перевагою вітрових електростанцій є достатньо рівномірний профіль генерації протягом року та вищий коефіцієнт використання встановленої потужності взимку, що є актуальним для енергосистеми в умовах зростання споживання електричної енергії протягом опалювального періоду. Існуючі об’єкти вітроенергетики побудовані на землі. Водночас Україна має значний технічно-досяжний потенціал розвитку морської (офшорної) вітроенергетики на мілководних територіях великих акваторій – Азовського та Чорного морів, затоки Сиваш, водосховищ Дніпровського каскаду гідроелектростанцій, лиманів. На сьогодні цей потенціал

ще не використовується. На основі досвіду більшості європейських країн з впровадження вітроелектростанцій в Україні може бути збільшено виробництво електричної енергії шляхом використання більш потужних вітроустановок та введення в експлуатацію нових потужностей наземних вітрових електростанцій;

– *біоенергетика.* Найбільший енергетичний потенціал в Україні мають такі види біомаси, як сільськогосподарські залишки (первинні – утворені в полі у процесі збирання врожаю, вторинні - утворені на підприємствах під час переробки врожаю, гній тварин) та енергетичні рослини (для отримання твердого біопалива та біогазу). Одним із шляхів розвитку біогазових технологій є виробництво біогазу з побутових відходів, яких щороку в Україні утворюється близько 10 млн. тон;

– *виробництво активними споживачами* (проз'юмерами) електричної енергії з відновлюваних джерел енергії: зростання генеруючих установок приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання.

Питання і завдання кейса:

1. Охарактеризувати переваги сучасних видів енергії.

2. Запропонувати варіанти використання сучасних альтернативних видів енергії на підприємствах та в домогосподарствах України.

Зазначимо, що значний обсяг інформації у кейсі при дослідженні учнями сучасних видів енергії для забезпечення енергоефективності в країні, передбачає використання педагогами сучасних екоорієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема, це – самостійна робота по створенню презентацій, підготовка виступів з аудіовізуальною підтримкою, моделювання процесів, тощо [2].

Висновки. Результатом використання педагогами інформаційно-комунікаційних технологій, проблемного та кейс-методів у дослідженні сучасних видів енергії для забезпечення енергоефективності, ознайомлення учнів з ситуацією в країні щодо альтернативних джерел енергії є формування свідомого

ставлення учнів до проблем навколишнього середовища, активізації у використанні в подальшій професійній діяльності та повсякденному житті сучасних технологій з енергозбереження.

Список використаних джерел

1. Пятничук Т.В. Застосування екоорієнтованої технології проблемного навчання у підготовці майбутніх робітників будівельної галузі. *Професійна педагогіка*. 2022. № 1 (24). С. 138-144. https://doi.org/10.32835/2707-3092.2022.24.138-144
2. Пятничук Т. В. Застосування екоорієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій у підготовці майбутніх робітників будівельної галузі. *Вісник Глухівського НПУ імені О. Довженка. Серія: Педагогічні науки*. 2022. Вип. 2 (49). С. 92-98. https://doi.org/10.31376/2410.0897.2022.2-49.92-98
3. Розпорядження КМ України «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання» від 13 серпня 2024 р. № 761-р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024 (дата звернення 08.05.2026)
4. Пятничук Т.В. Методика застосування кейс-методу у дослідженні енергоефективності будівельної галузі у професійній підготовці *Вісник Глухівського НПУ імені О. Довженка. Педагогічні науки*. 2023. Вип. 2 (52.). С. 96-102. https://doi.org/10.31376/2410-0897-2023-2-52-96-102

УДК 377.352

Тетяна Пятничук, кандидат педагогічних наук,
старший науковий співробітник
відділу змісту і технологій професійної освіти,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ У ФОРМУВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

Анотація. Ураховуючи сучасний стан в енергетиці України, особливо важливим є формування знань учнів закладів професійної освіти щодо видів та використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива. Застосування педагогічних технологій – інформаційно-комунікаційних, проблемного та кейс-методів при проведення занять уможливить їхню результативність.

Ключові слова: національний план дій, сонячна, вітрова, мала гідроенергетика.

Abstract. Considering the current state of the energy sector in Ukraine, it is especially important to form the knowledge of students of vocational education institutions about the types and use of renewable energy sources and alternative fuels. The use of pedagogical technologies - information and communication, problem-based and case methods - when conducting classes will enable their effectiveness.

Keywords: national action plan, solar, wind, small hydropower.

Одним із напрямів формування енергоефективної компетентності є дослідження нормативних документів України та систематизація знань учнів про сучасні технології з виробництва різних видів енергії, формування здатності визначати їхні переваги, вплив на довколищнє середовище та можливості використання в Україні, як складову професійної компетентності. З цією метою проведення занять доцільне в інтеграції сучасних педагогічних технологій, зокрема, інформаційно-комунікаційних, проблемного та кейс-методів.

Використовуючи проблемний метод, педагог представляє проблему енергозбереження та на початку заняття визначає запитання і завдання для вирішення учнями [1]:

– що ви знаєте про гідроенергетику та малу гідроенергетику?

– на вашу думку, які переваги має сонячна енергетика; чи знаєте приклади її використання;

– якою інформацією володієте про вітрову енергетику; морську вітроенергетику?;

– запропонуйте регіони України для використання сонячної, вітрової, геотермальної.

Для аналізу нормативних документів, зокрема розпорядження КМ України «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання» доцільно використовувати одиничні кейси, які формують вміння використовувати теоретичний матеріал опису ситуації в кейсі для аналізу теоретичних і практичних проблем; визначення незрозумілого або нового і формулювання питань [4].

Зміст кейса: Національний план передбачає можливості використання в Україні таких альтернативних видів енергії:

– *мала гідроенергетика*: у разі використання гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що дасть змогу розв’язати ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, а також підвищити стійкість енергосистеми [3]. Мікро-, міні- та малі гідроелектростанції можуть стати потужною основою енергозабезпечення для регіонів західної частини України. Для вирішення питань розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розроблення конструкцій гідротурбінного обладнання. Вітчизняні підприємства мають

необхідне виробниче оснащення для таких гідроелектростанцій вітчизняним обладнанням;

– *сонячна енергетика*. Перетворення сонячної енергії в електричну в умовах України доцільно здійснювати насамперед з використанням фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може задовольнити повністю не тільки потреби вітчизняних споживачів, але і представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції. Фотоелектричне обладнання може ефективно експлуатуватися протягом усього року, проте максимально ефективно - протягом семи місяців на рік (з квітня по жовтень) в південних регіонах та п’яти місяців на рік (з травня по вересень) - у північних. Зростання встановлених потужностей сонячної енергетики планується за рахунок встановлення генеруючих установок активними споживачами, в тому числі приватними домогосподарствами, а також у майбутньому громадськими енергетичними спільнотами та спільнотами споживачів відновлюваної енергії з метою забезпечення передусім власного споживання [3];

– *вітрова енергетика***.** Україна має значний потенціал подальшого розвитку вітроенергетики. Найбільш перспективними для цього є південні та південно-східні регіони країни, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сучасних вітрових електроустановок сягає від 7 метрів за секунду і вище. Перевагою вітрових електростанцій є достатньо рівномірний профіль генерації протягом року та вищий коефіцієнт використання встановленої потужності взимку, що є актуальним для енергосистеми в умовах зростання споживання електричної енергії протягом опалювального періоду. Існуючі об’єкти вітроенергетики побудовані на землі. Водночас Україна має значний технічно-досяжний потенціал розвитку морської (офшорної) вітроенергетики на мілководних територіях великих акваторій – Азовського та Чорного морів, затоки Сиваш, водосховищ Дніпровського каскаду гідроелектростанцій, лиманів. На сьогодні цей потенціал

ще не використовується. На основі досвіду більшості європейських країн з впровадження вітроелектростанцій в Україні може бути збільшено виробництво електричної енергії шляхом використання більш потужних вітроустановок та введення в експлуатацію нових потужностей наземних вітрових електростанцій;

– *біоенергетика.* Найбільший енергетичний потенціал в Україні мають такі види біомаси, як сільськогосподарські залишки (первинні – утворені в полі у процесі збирання врожаю, вторинні - утворені на підприємствах під час переробки врожаю, гній тварин) та енергетичні рослини (для отримання твердого біопалива та біогазу). Одним із шляхів розвитку біогазових технологій є виробництво біогазу з побутових відходів, яких щороку в Україні утворюється близько 10 млн. тон;

– *виробництво активними споживачами* (проз'юмерами) електричної енергії з відновлюваних джерел енергії: зростання генеруючих установок приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання.

Питання і завдання кейса:

1. Охарактеризувати переваги сучасних видів енергії.

2. Запропонувати варіанти використання сучасних альтернативних видів енергії на підприємствах та в домогосподарствах України.

Зазначимо, що значний обсяг інформації у кейсі при дослідженні учнями сучасних видів енергії для забезпечення енергоефективності в країні, передбачає використання педагогами сучасних екоорієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема, це – самостійна робота по створенню презентацій, підготовка виступів з аудіовізуальною підтримкою, моделювання процесів, тощо [2].

Висновки. Результатом використання педагогами інформаційно-комунікаційних технологій, проблемного та кейс-методів у дослідженні сучасних видів енергії для забезпечення енергоефективності, ознайомлення учнів з ситуацією в країні щодо альтернативних джерел енергії є формування свідомого

ставлення учнів до проблем навколишнього середовища, активізації у використанні в подальшій професійній діяльності та повсякденному житті сучасних технологій з енергозбереження.

Список використаних джерел

1. Пятничук Т.В. Застосування екоорієнтованої технології проблемного навчання у підготовці майбутніх робітників будівельної галузі. *Професійна педагогіка*. 2022. № 1 (24). С. 138-144. https://doi.org/10.32835/2707-3092.2022.24.138-144
2. Пятничук Т.В. Застосування екоорієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій у підготовці майбутніх робітників будівельної галузі. *Вісник Глухівського НПУ імені О. Довженка. Серія: Педагогічні науки*. 2022. Вип. 2 (49). С. 92-98. https://doi.org/10.31376/2410.0897.2022.2-49.92-98 .
3. Розпорядження КМ України «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання» від 13 серпня 2024 р. № 761-р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024 (дата звернення 08.05.2026)
4. Пятничук Т.В. Методика застосування кейс-методу у дослідженні енергоефективності будівельної галузі у професійній підготовці *Вісник Глухівського НПУ імені О. Довженка. Педагогічні науки*. 2023. Вип. 2 (52.). С. 96-102. https://doi.org/10.31376/2410-0897-2023-2-52-96-102

УДК 377:005.6](493.2)

Денис Жежерун, доктор філософії,
молодший науковий співробітник,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ І ПІДГОТОВКИ У ВЕЛИКОМУ ГЕРЦОГСТВІ ЛЮКСЕМБУРГ: СУЧАСНІ ПРАКТИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ

Анотація. У тезах висвітлено сучасні практики забезпечення якості професійної освіти і підготовки у Великому Герцогстві Люксембург. Показано, що ефективність люксембурзької моделі ґрунтується на поєднанні централізованого управління, компетентнісного підходу, дуальної форми здобуття освіти, соціального партнерства та механізмів безперервного вдосконалення. Окрему увагу приділено інноваційним організаційно-педагогічним практикам, зокрема самооцінюванню закладів, інтегрованому оцінюванню, підготовці наставників на підприємствах і валідації результатів неформального навчання. Обґрунтовано перспективи адаптації досвіду Люксембургу для модернізації професійної освіти України в умовах сучасних викликів.

Ключові слова: професійна освіта і підготовка; забезпечення якості; дуальна освіта; соціальне партнерство; валідація навчання; освіта впродовж життя.

Abstract. The theses highlight contemporary practices of quality assurance in vocational education and training in the Grand Duchy of Luxembourg. It is shown that the effectiveness of the Luxembourg model is based on a combination of centralized governance, a competence-based approach, dual education, social partnership, and mechanisms of continuous improvement. Special attention is paid to innovative organizational and pedagogical practices, including institutional self-evaluation, integrated assessment, mentor training at enterprises, and validation of non-formal learning outcomes. The possibilities of adapting Luxembourg's experience to the modernization of vocational education in Ukraine under current challenges are substantiated.

Keywords: vocational education and training; quality assurance; dual education; social partnership; validation of learning; lifelong learning.

Європейська інтеграція України та потреби повоєнного відновлення посилюють вимоги до модернізації системи професійної освіти і підготовки. Якість підготовки кваліфікованих кадрів безпосередньо пов'язана зі здатністю держави

реагувати на зміни ринку праці, забезпечувати професійну мобільність населення та розвивати освіту впродовж життя. У європейському освітньому просторі забезпечення якості професійної освіти розглядається як системний процес, що охоплює планування, реалізацію, оцінювання та подальше вдосконалення результатів навчання [3; 4].

Показовим у цьому контексті є досвід Великого Герцогства Люксембург, де вдалося сформувати цілісну модель забезпечення якості професійної освіти і підготовки, що поєднує законодавче регулювання, інституційну координацію, соціальне партнерство та дуальну форму здобуття освіти [1; 2]. Визначальним етапом модернізації стала реформа 2008 року, яка перевела професійну освіту на компетентнісну та модульну основу, посилила її зв'язок із ринком праці та розширила можливості навчання впродовж життя [1; 6].

Інституційна архітектура забезпечення якості в Люксембурзі має централізований характер, однак не обмежується адміністративним контролем. Ключову роль відіграє Міністерство освіти, дітей та молоді, яке визначає загальну політику у сфері професійної освіти. Водночас реалізація цієї політики спирається на діяльність спеціалізованих інституцій. Служба SCRIPT відповідає за педагогічні інновації, методичний супровід та розроблення рамки самооцінювання шкіл, тоді як Національна обсерваторія якості шкіл здійснює незалежний аналіз і готує аналітичні звіти для уряду та парламенту [1; 5]. Тристоронній консультативний комітет, своєю чергою, забезпечує моніторинг потреб ринку праці та актуальності освітніх програм [1].

Однією з найбільш показових практик є розвиток внутрішньої системи забезпечення якості на рівні закладів освіти. Усі заклади професійної освіти і підготовки розробляють трирічні плани розвитку, у яких визначають стратегічні пріоритети, сильні та слабкі сторони, а також конкретні кроки для вдосконалення освітнього процесу. Такий підхід реалізується на основі циклу PDCA і сприяє формуванню культури системного самооцінювання [1; 3; 4].

Важливою складовою люксембурзької моделі є забезпечення якості навчання на робочому місці. У межах дуальної системи компанії можуть здійснювати професійну підготовку лише за наявності спеціального дозволу, що підтверджує їхню готовність забезпечити належні умови навчання. Наставники на підприємствах проходять короткострокову підготовку за програмою Train-the-Trainer, яка підвищує педагогічну якість супроводу учнів [1; 2]. Ця практика є особливо показовою для України, де розвиток дуальної освіти потребує не лише правового врегулювання, а й педагогічної підготовки майстрів виробництва.

Суттєвим чинником ефективності системи є реальне соціальне партнерство. Професійні палати в Люксембурзі беруть участь у розробленні програм, сертифікації та супроводі учнів у межах учнівства. Через інститут учнівських консультантів вони координують взаємодію між закладом освіти і підприємством, допомагають розв’язувати конфліктні ситуації та відстежують результати навчання [1; 9]. Це свідчить про те, що відповідальність за якість підготовки в Люксембурзі поділена між державою та роботодавцями.

До важливих інноваційних практик належать також нові підходи до оцінювання та валідації результатів навчання. Підсумкові випробування реалізуються у формі інтегрованих проєктів, побудованих на реальних професійних завданнях, що дає змогу оцінювати не лише рівень знань, а й здатність діяти в конкретній виробничій ситуації [1; 2]. Водночас процедура VNFIL дозволяє особам із достатнім професійним досвідом підтвердити результати неформального та інформального навчання й отримати державний диплом або сертифікат [1; 2]. Для України цей механізм є особливо важливим, оскільки може бути корисним для професійної реінтеграції ветеранів, внутрішньо переміщених осіб та інших категорій населення.

Отже, досвід Люксембургу засвідчує, що результативність професійної освіти і підготовки забезпечується не стільки посиленням зовнішнього контролю, скільки узгодженістю інституційної політики, культури безперервного

вдосконалення, соціального партнерства та практикоорієнтованого оцінювання [4; 8]. Адаптація цих підходів в Україні може стати важливою передумовою формування більш гнучкої та стійкої системи підготовки кадрів, здатної відповідати сучасним викликам і потребам відновлення держави.

Список використаних джерел

1. Biré C., Fry M. Vocational education and training in Europe – Luxembourg. Cedefop ReferNet VET in Europe reports. 2016. URL: https://cumulus.cedefop.europa.eu/files/vetelib/2016/2016_CR_LU.pdf (дата звернення 20.05.2026).
2. Cedefop. Vocational education and training in Luxembourg: short description. Luxembourg : Publications Office, 2015. http://dx.doi.org/10.2801/741212
3. Terminology of European education and training policy. A selection of 130 key terms. Second Edition. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2014. https://doi.org/10.2801/15877
4. The EU's role in European VET quality assurance. Gatsby Foundation, 2024. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015XG1215(02)&from=EN (дата звернення 20.05.2026).
5. OECD. Education Policy Outlook: Luxembourg. 2016. URL: https://www.oecd.org/education/policyoutlook.htm (дата звернення 20.05.2026).
6. Réforme de la Formation Professionnelle. Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. No 220. 2008. URL: http://eli.legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2008/12/19/n19 (дата звернення 20.05.2026).
7. Головатенко Т. Ю. Теоретичні підходи до побудови мультилінгвальних освітніх програм у Люксембурзі. Освітологічний дискурс. 2018. № 3–4 (22–23). С. 309–320. URL: https://od.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/522 (дата звернення 20.05.2026).
8. Радкевич В. О., Бородієнко О. В. та ін. Системи оцінювання якості професійної освіти і навчання в країнах Європейського Союзу : монографія. Київ : ІПТО НАПН України, 2018. 223 с.
9. Самохвал О. О. Особливості формування та реалізації державного управління професійною освітою майбутніх фахівців туристичної галузі у Люксембурзі. *Освітологія.* 2017. № 6. С. 181–186.

УДК 377.014.6:005.6

Ірина Мося, кандидат педагогічних наук,
старший науковий співробітник,
Петро Лузан, доктор педагогічних наук, професор,
головний науковий співробітник,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХОВИХ МОЛОДШИХ БАКАЛАВРІВ В АГРАРНИХ КОЛЕДЖАХ

Анотація. Стаття присвячена обґрунтуванню методичної системи забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах. На основі правил формальної логіки сформульовано дефініцію поняття «якість професійної підготовки». Обгрунтовано методичну систему забезпечення якості професійної підготовки фахівців в аграрних коледжах як конструкт взаємопов'язаних структурних (мета, зміст, форми, методи і засоби навчання та ін.) та функціональних (проектувальний, конструктивний, комунікативний, технологічний та ін.) компонентів. Розроблена модель унаочнює концептуальні зв'язки між компонентами системи та спонукає до більш детального дослідження її підсистем.

Ключові слова: якість професійної підготовки, методична система, освітній процес, аграрний коледж, фаховий молодший бакалавр.

Abstract. The article is devoted to the substantiation of the methodical system for quality assurance of vocational training of professional junior bachelors in agricultural colleges. Based on the rules of formal logic, the definition of the concept "quality of vocational training" has been formulated. The methodical system for quality assurance of professional training of specialists in agricultural colleges is substantiated as a construct of interconnected structural (goal, content, forms, methods, and means of training, etc.) and functional (design, constructive, communicative, technological, etc.) components. The developed model visualizes the conceptual links between the system components and prompts a more detailed study of its subsystems.

Keywords: quality of vocational training, methodical system, educational process, agricultural college, professional junior bachelor.

В умовах повномасштабної війни з рф та динамічної модернізації усіх галузей економіки України аграрний сектор залишається стратегічним базисом національної безпеки й основою експортного потенціалу держави. Перехід до моделі «Агро 4.0» – систем точного землеробства, робототехніки, штучного

інтелекту – докорінно змінює вимоги до фахівців-аграрників, зокрема фахових молодших бакалаврів [1]. Сучасний агротехнік, агроном, організатор фермерського господарства має поєднувати базові знання з механізації сільського господарства, агрономії, тваринництва з навичками застосування інноваційних цифрових технологій, сучасних машин і обладнання, демонструвати уміння ефективно діяти в умовах обмежених ресурсів і суворих екологічних стандартів. У цьому контексті проблема забезпечення якості підготовки фахівців середньої ланки в аграрних коледжах набуває особливої актуальності. Це не лише педагогічне завдання, а й економічна та соціальна потреба: невідповідність кваліфікації випускників вимогам аграрного ринку праці може суттєво вплинути на продовольчу безпеку країни. Відтак, пошук нових дидактичних механізмів, технологічних ресурсів і засобів підвищення якості освітнього процесу в аграрних коледжах є стратегічним пріоритетом для розвитку як системи фахової передвищої освіти, так і всього агропромислового комплексу України.

Науково-методологічними засадами розв’язання проблеми забезпечення якості професійної підготовки фахівців у закладах освіти слугують праці таких вітчизняних учених, як А. Гуржій, В. Кремінь, В. Луговий, О. Ляшенко, Н. Ничкало, Л. Пуховська, В. Радкевич, С. Сисоєва, Ж. Таланова, О. Топузов та ін. Теоретико-методичні основи забезпечення якості освіти обґрунтовували О. Біляковська, С. Бабінець, В. Бобрицька, І. Булах, В. Вікторов, І. Гириловська, Ю. Дутчак, Г. Єльникова, В. Ковтунець, Г. Красильникова, С. Кретович, В. Лилик, О. Максименко, С. Мельник, І. Шпак та ін.; наукові аспекти оцінювання якості підготовки фахівців у закладах фахової передвищої освіти розробляли Т. Іщенко, А. Каленський, О. Лапа, Т. Пащенко, О. Тітова, М. Хоменко та ін. Проте аналіз наявних наукових праць переконує: на українському науково-педагогічному полі бракує досліджень, у яких обґрунтовується системний підхід до забезпечення якості професійної підготовки фахівців в аграрних коледжах.

Мета статті: на основі аналізу педагогічної теорії і освітньої практики запропонувати методичну систему забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Насамперед слід вказати, що в наявній науковій літературі спостерігаємо розбрат думок учених щодо розуміння сутності понять «якість освіти», «якість освітнього процесу», «якість професійної підготовки» тощо. У Законі України «Про фахову передвищу освіту» задекларовано, що «якість фахової передвищої освіти» – це «… відповідність умов освітньої діяльності та результатів навчання вимогам законодавства та стандартам фахової передвищої освіти, професійним та/або міжнародним стандартам (за наявності), а також потребам заінтересованих сторін і суспільства, яка забезпечується шляхом здійснення процедур внутрішнього та зовнішнього забезпечення якості освіти» [2]. Тут же уточнюється, що системи забезпечення якості освітньої діяльності та якості фахової передвищої освіти закладу фахової передвищої освіти складають внутрішню систему забезпечення якості фахової передвищої освіти) [2].

Натомість поняття «якість професійної підготовки» досі залишається термінологічно невизначеним на рівні державних освітніх стандартів і нормативних документів, а тому є предметом активних наукових дискусій. Наприклад, у своїх працях Г. Красильникова доводить, що цей феномен означає «якість складників професійно орієнтованої педагогічної системи (мета освіти, людський потенціал, матеріально-технічні ресурси, навчально-методичне забезпечення, зміст освіти, та освітні технології тощо)»; «якість інституційних умов функціонування педагогічної системи»; «якість результатів (академічних і соціальних)». [3, с.69-70]. Р. Курбанов переконаний, що термін «якість професійної підготовки» виник як результат звуження змісту поняття «якість освіти»; якість професійної підготовки залежить від оптимального добору змісту навчання, від технологій, методик його опанування студентами, від професійної компетентності

науково-педагогічних працівників, сформованості навчальної мотивації, розвитку професійної спрямованості студентів в освітньому процесі [4].

Дефінітивний аналіз досліджуваного поняття, використання правил формальної логіки дозволили сформулювати таке визначення: *«якість професійної підготовки фахівців в аграрних коледжах» – це комплексна характеристика результатів освітньої діяльності, що відображає ступінь відповідності сформованих фахових компетентностей випускників вимогам стандартів фахової передвищої освіти, запитам сучасного аграрного ринку праці та самої особистості, забезпечується функціональною взаємодією компонентів освітнього процесу, безперервним, об'єктивним моніторингом навчальних досягнень здобувачів в умовах студентоцентрованого навчання.*

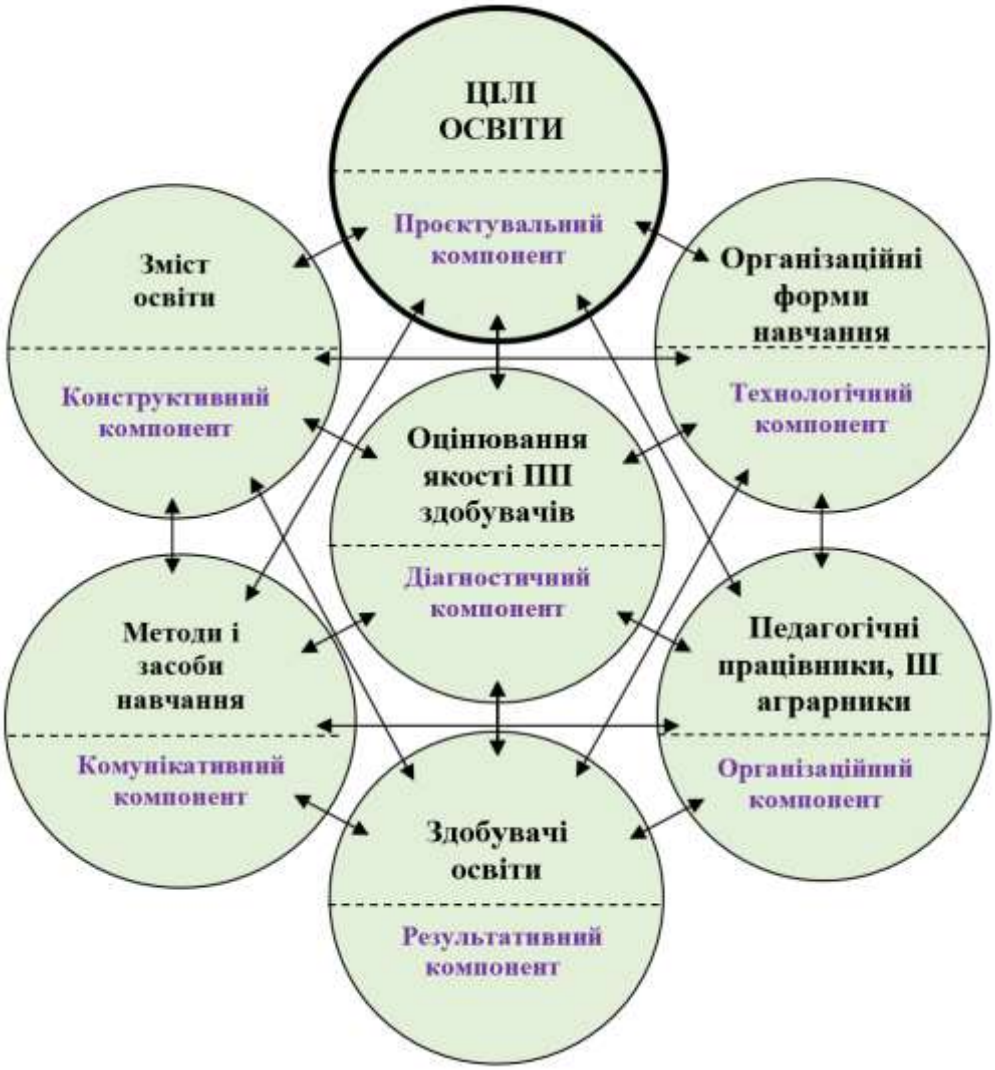
Відтак, у самому визначенні якості професійної підготовки фахівців-аграрників говориться про необхідність розгляду феномену як системи «компонентів освітнього процесу». Доречно нагадати, що до основних чинників забезпечення якості освітнього процесу наразі найчастіше відносять: високий рівень професійної компетентності та особистісні якості педагогічних працівників (відповідальність, принциповість, толерантність, доброта тощо); якісне навчально-методичне забезпечення освітнього процесу (сучасні підручники, посібники, методичні рекомендації); об'єктивний контроль та надійне оцінювання компетентнісного навчання студентів; інтеграція в освітній процес інноваційних педагогічних технологій (інтерактивних, інтенсивних, цифрових та ШІ, дуальних тощо); залучення викладачів та здобувачів освіти до науково-дослідної діяльності; відповідність змісту навчальних програм актуальним запитам ринку праці та тенденціям розвитку аграрної галузі; міжнародна співпраця та налагодження контактів із провідними іноземними агрофірмами; сучасна матеріально-технічна база та розвинена інфраструктура аграрного коледжу; практична спрямованість навчання на формування компетентностей майбутнього фахівця-аграрника; домінування в освітньому процесі самостійної роботи студентів, розвиток їх

мотивації «навчання впродовж життя». Не важко помітити, що кожний із вказаних чинників має вкрай важливе значення, і вилучення (або неврахування) бодай одного з них не може забезпечити повноцінне досягнення цілей компетентнісно орієнтованої підготовки фахівців-аграрників. Наведені вище міркування спонукають до обґрунтування та розроблення методичної системи забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Передусім зазначимо, що на сучасному етапі розвитку вітчизняного науково-педагогічного дискурсу спостерігається певна дискусійність щодо сутності та співвідношення дефініцій «педагогічна система», «освітня система», «методична система» тощо. Зазвичай ці конструкти диференціюють за структурною ознакою. Найчастіше під методичною системою навчання дослідники розуміють цілісну сукупність ієрархічно пов’язаних компонентів (методи, форми, засоби навчання, освітні результати, зміст освіти тощо), що утворюють єдину функціональну структуру, спрямовану на досягнення визначених освітніх цілей. У межах нашого дослідження методичну систему забезпечення якості професійної підготовки фахівців в аграрних коледжах визначено як динамічну сукупність взаємопов’язаних структурних і функціональних компонентів освітнього процесу, що інтегрують ресурси закладу освіти та агробізнесу. Ця система спрямована на набуття здобувачами регламентованих освітніх результатів в умовах студентоцентрованого навчання й передбачає безперервний моніторинг їхніх компетентнісних досягнень задля оперативного коригування індивідуальної освітньої траєкторії. Відповідно до архітектоніки цілісного освітнього процесу, структурними компонентами (підсистемами) пропонованої методичної системи є (рис. 1):

– цілі освіти (*проектувальний компонент*) – очікувані кінцеві результати навчання, що полягають у підготовці конкурентоздатного фахівця, здатного ефективно розв’язувати професійні завдання в умовах сучасного високотехнологічного сільськогосподарського виробництва;

– зміст освіти (*конструктивний компонент*) – науково обґрунтована система професійних компетентностей, відібрана відповідно до вимог професійних



та освітніх стандартів, а також актуальних запитів сучасного сільськогосподарського виробництва;

Рис. 1. Концептуальна модель методичної системи забезпечення якості професійної підготовки (ПП) фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах

– методи навчання (*комунікативний компонент*) – способи упорядкованої взаємопов’язаної діяльності викладача та студентів, спрямовані на досягнення прогнозованих освітніх результатів;

– засоби навчання (*інструментальний компонент*) – комплекс матеріальних і цифрових об'єктів (лабораторне устаткування, агротехніка, симулятори, електронні платформи), які забезпечують технологізацію та наочність освітнього процесу;

– організаційні форми навчання (*технологічний компонент*) – зовнішній прояв та архітектура освітнього процесу, що регламентує взаємодію його учасників у часі й просторі (лекції, практичні та лабораторні заняття, тренінги, виробнича практика, дуальне навчання);

– здобувачі освіти (*результативний компонент*) центральні суб'єкти освітнього процесу, які виявляють свідому навчально-пізнавальну активність, проєктують власну освітню траєкторію та набувають професійного досвіду безпосередньо в умовах реального сільськогосподарського виробництва;

– педагогічні працівники (викладачі, майстри виробничого навчання тощо), ШІ (штучний інтелект як консультант, виконавець певних технічних функцій) фахівці-аграрники (*організаційний компонент*), що здійснюють професійну підготовку фахівців-аграрників, здатних знайти своє місце на аграрному ринку праці, активно включитися у соціально-виробничі відносини вже з перших днів роботи за фахом;

– оцінювання якості професійної підготовки здобувачів (*діагностичний компонент*) – є засобом управління якістю освітнього процесу в реальному часі, забезпечує неперервний зворотній зв'язок задля корегування змісту, методів, засобів навчання, організаційних форм та ін.

Отже, дослідженням доведено доцільність запровадження методичної системи як дієвого інструменту цілеспрямованого забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах. Означена система функціонально орієнтована на безперервний розвиток компетентностей здобувачів в умовах синергії теоретичного навчання та практичної діяльності в сучасному агровиробництві. Сконструйована модель концептуалізує зв'язки між її ключовими

компонентами та демонструє інноваційний вплив тандему «Педагог та ШІ» на інтенсифікацію освітнього процесу в аграрному коледжі.

Перспективи подальшого наукового пошуку полягають у розробленні та обгрунтуванні структурно-функціональної моделі методичної системи цілеспрямованого забезпечення якості професійної підготовки фахових молодших бакалаврів в аграрних коледжах.

Список використаних джерел

1. Жук В. М., Сігайов А. О. Науково-прикладні основи сталого розвитку за селозберігаючою моделлю аграрного устрою. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2019. № 10. С. 28–37. https://doi.org/10.37128/2411-4413-2019-10-4
2. Про фахову передвищу освіту : Закон України від 06.06.2019 р. № 2745-VIIII. URL: https://cutt.ly/eNWF0Wb (дата звернення 08.05.2026)
3. Красильникова Г. В. Теоретичні та методичні засади моніторингу якості професійної підготовки інженерів швейної галузі у вищому навчальному закладі : дис. … докт. пед. наук : 13.00.04. Інститут педагогічної освіти і освіти дорослих НАПН України. Київ, 2016. 670 с.
4. Курбанов Р. А. Еволюція поняття «якість»: від якості освіти до якості професійної підготовки майбутніх фахівців економічних спеціальностей. URL: http://nvd.luguniv.edu.ua/archiv/NN28/7.pdf (дата звернення 08.05.2026)

УДК 37.091:69

Вікторія Купрієвич, кандидат педагогічних наук, доцент,
науковий співробітник відділу професійно-практичної підготовки
Інституту професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна
Ольга Єршова, кандидат економічних наук, доцент,
науковий співробітник відділу професійно-практичної підготовки
Інституту професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ «ЗЕЛЕНОЇ» ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

Анотація. Висвітлено проблему модернізації професійно-практичної підготовки фахівців будівельної галузі в умовах «зеленої» відбудови України та трансформації професійної освіти відповідно до принципів сталого розвитку. Обґрунтовано значення професійно-практичної підготовки як чинника забезпечення якості професійної освіти та формування конкурентоспроможних фахівців для енергоефективного будівництва. Розкрито роль компетентнісного, діяльнісного та інтегративного підходів, цифровізації освітнього процесу, використання BIM-технологій і дуальної форми здобуття освіти у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців. Окреслено основні виклики модернізації професійної освіти України та перспективні напрями її розвитку в контексті європейської інтеграції й післявоєнної реконструкції держави.

Ключові слова: професійно-практична підготовка; енергоефективне будівництво; професійна освіта; дуальна освіта; BIM-технології; цифровізація; якість професійної освіти; сталий розвиток.

Abstract. The paper highlights the problem of modernizing the professional and practical training of construction industry specialists in the context of Ukraine's "green" recovery and the transformation of vocational education in accordance with the principles of sustainable development. The importance of professional and practical training as a factor in ensuring the quality of vocational education and preparing competitive specialists for energy-efficient construction is substantiated. The role of competency-based, activity-based and integrative approaches, digitalization of the educational process, the use of BIM technologies, and dual education in the formation of professional competencies of future specialists is revealed. The main challenges of modernizing vocational education in Ukraine and перспективні directions for its development in the context of European integration and post-war reconstruction are outlined.

Keywords: professional and practical training; energy-efficient construction; vocational education; dual education; BIM technologies; digitalization; quality of vocational education; sustainable development**.**

Сучасні трансформаційні процеси у сфері енергетики, реалізація політики сталого розвитку та післявоєнна відбудова України актуалізують проблему модернізації професійної освіти, зокрема підготовки фахівців будівельної галузі. Будівництво залишається одним із найбільших споживачів енергоресурсів, тому впровадження принципів енергоефективності та ресурсозбереження стає стратегічним напрямом державної політики. У цих умовах особливого значення набуває професійно-практична підготовка майбутніх фахівців, здатних працювати відповідно до сучасних екологічних, технологічних та європейських стандартів.

Енергетична стратегія України до 2050 року визначає енергоефективність одним із ключових чинників економічної конкурентоспроможності та енергетичної безпеки держави [4]. Водночас Національний план відновлення України акцентує увагу на необхідності модернізації інфраструктури та розвитку людського капіталу [2]. Зазначені документи формують регуляторне середовище, у межах якого професійна освіта має трансформуватися відповідно до нових економічних і технологічних викликів. Вони визначають подвійний вектор розвитку: відновлення пошкодженої інфраструктури та модернізацію системи професійної освіти відповідно до європейських стандартів.

Отже, модернізація професійно-практичної підготовки виступає не факультативним напрямом розвитку, а стратегічною необхідністю в умовах повоєнної реконструкції. Це зумовлює потребу у формуванні нових професійних компетентностей майбутніх кваліфікованих робітників будівельної галузі.

Проблема модернізації професійної підготовки фахівців з енергоефективного будівництва розглядається у працях вітчизняних та зарубіжних дослідників. Науковці наголошують на необхідності інтеграції компетентнісного, системного, діяльнісного та міждисциплінарного підходів у професійну освіту [3, 6]. Важливим

напрямом є також розвиток дуальної форми здобуття освіти та цифровізації освітнього процесу.

Професійно-практична підготовка виступає інтеграційною ланкою між освітнім середовищем і реальним виробництвом. Її зміст має відображати сучасні технології утеплення будівель, монтажу енергоефективних інженерних систем, використання відновлюваних джерел енергії, проведення енергетичного аудиту та цифрового моделювання будівель. У сучасних умовах важливого значення набуває впровадження технологій BIM, які забезпечують формування системного бачення життєвого циклу будівлі та розвиток навичок енергетичного аналізу [5]. Використання BIM у професійній освіті дозволяє інтегрувати технічні, економічні та екологічні аспекти будівництва в єдину навчальну модель, що відповідає інтегративному підходу. Таким чином, цифровізація професійної підготовки виступає не лише технологічною інновацією, а й методологічно обґрунтованим засобом формування комплексних компетентностей.

Не менш важливим є впровадження дуальної форми здобуття освіти та навчання на робочому місці, що реалізує діяльнісний та практико-орієнтований підходи. Дуальна освіта вже давно зарекомендувала себе в багатьох країнах Європи, зокрема в Німеччині, Швейцарії, Австрії та має значний потенціал для розвитку в нашій державі. Україна з огляду на економічні та соціальні виклики, зокрема в будівельному секторі, потребує гнучких та ефективних методів підготовки фахівців, здатних розв’язувати актуальні проблеми галузі. Адаптація дуальної освіти до українських реалій стане важливим кроком на шляху до модернізації професійної освіти та підвищення рівня працевлаштування молодих спеціалістів у будівельній сфері.

Поєднання теоретичного навчання із практикою на підприємствах сприяє формуванню прикладних компетентностей, професійної відповідальності та готовності до роботи в реальних виробничих умовах [7]. Досвід країн

Європейського Союзу демонструє, що саме системна взаємодія закладів освіти та роботодавців забезпечує високу якість професійної підготовки.

Водночас система професійної освіти України стикається з низкою викликів: недостатнім рівнем цифровізації, застарілою матеріально-технічною базою, потребою в оновленні освітніх програм та підвищенні кваліфікації педагогічних працівників. Багато закладів професійної освіти ще не мають достатнього обладнання для формування практичних навичок у сфері енергоефективного будівництва [1]. У зв'язку з цим актуальним є розвиток навчально-практичних центрів, лабораторій енергоаудиту та енергомоделювання, а також посилення партнерства з роботодавцями.

Якість професійної освіти доцільно розглядати як ступінь відповідності результатів навчання потребам ринку праці та стратегічним орієнтирам сталого розвитку. У цьому контексті професійно-практична підготовка виконує не лише навчальну, а й оціночно-результативну функцію, оскільки саме в умовах практичної діяльності перевіряється сформованість професійних компетентностей здобувачів освіти. Європейський досвід засвідчує, що ефективні системи забезпечення якості професійної освіти передбачають активну участь роботодавців у формуванні стандартів, оновленні освітніх програм та оцінюванні результатів навчання.

Отже, модернізація професійно-практичної підготовки фахівців з енергоефективного будівництва є стратегічною умовою забезпечення якості професійної освіти та формування конкурентоспроможного людського капіталу для післявоєнної відбудови України. Перспективними напрямами розвитку є впровадження дуальної освіти, цифрових технологій, оновлення матеріально-технічної бази та поглиблення співпраці закладів професійної освіти з роботодавцями.

Список використаних джерел

1. Герасимик-Чернова Т. П., Хомич А.В.. Дуальна система освіти як один із методів реформування системи підготовки фахівців для будівельного сектору.

Інноваційні технології при підготовці фахівців будівельної галузі: електронний зб. матеріалів Всеукраїнської науково-практичної. конференції, м. Біла Церква, 19 листопада 2020 р. / за заг. ред. А.Б. Єрмоленка, В.С. Кулішова, С.С. Шевчук. Біла Церква : БІНПО ДЗВО УМО НАПН України, 2020. С. 36–41.
2. Кабінет Міністрів України. План відновлення України. 2023. https://recovery.gov.ua/ (дата звернення 17.05.2026).
3. Каленський А. Педагогічне моделювання формування енергоефективної компетентності майбутніх кваліфікованих робітників будівельної галузі. *Вісник Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка. Серія: «Педагогічні науки»*, 2025. № 3(59), С. 10-19. https://doi.org/10.31376/2410-0897-2025-3-59-10-19
4. Міністерство енергетики України. Україна – енергетичний хаб Європи. Уряд схвалив Енергетичну стратегію до 2050 року. 2023. https://mev.gov.ua/novyna/ukrayina-enerhetychnyy-khab-yevropy-uryad-skhvalyv-enerhetychnu-stratehiyu-do-2050-roku (дата звернення 17.05.2026).
5. Alhamami A., Petri I., Rezgui Y., Kubicki S. Promoting energy efficiency in the built environment through adapted BIM training and education. *Energies*. 2020. Vol. 13 (9). Article 2308. https://doi.org/10.3390/en13092308
6. Brunsgaard C., Dvořáková P., Wyckmans A., Stutterecker W., Laskari M., Almeida M., Kabele K. Integrated energy design – Education and training in cross-disciplinary teams implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). *Building and Environment*. 2014. Vol. 72. P. 1–14. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.011
7. Ertelt, B.-J., Frey, A., Hochmuth, M., Ruppert, J.-J., & Seyffer, S. Apprenticeships as a unique shaping field for the development of an individual future-oriented “vocationality”. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(4), Article 2279. https://doi.org/10.3390/su13042279

УДК 37.014.5:37.026.1:63

Василь Шусть, кандидат педагогічних наук, доцент
старший науковий співробітник
відділу фахової передвищої освіти,
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ВИКЛАДАЧІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТИ У ПРОФЕСІЙНИХ КОЛЕДЖАХ АГРАРНОГО СПРЯМУВАННЯ

Анотація. У статті обґрунтовано модель формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти в аграрних професійних коледжах. Її основу становить професійна агентність, що інтегрує когнітивний, мотиваційний, рефлексивний та технологічний виміри. Запропоновано шість етапів реалізації, які забезпечують системний розвиток педагогічного потенціалу, академічну доброчесність та адаптацію до викликів інноваційного розвитку освіти України.

Ключові слова: якість освіти; професійні коледжі; аграрна освіта; готовність викладача; професійна агентність; структурна модель; етапи формування.

Abstract. The article substantiates a model for forming teachers' readiness to ensure the quality of education in agricultural vocational colleges. Its foundation is professional agency, which integrates cognitive, motivational, reflective, and technological dimensions. Six stages of implementation are proposed, ensuring the systemic development of pedagogical potential, academic integrity, and adaptation to the challenges of innovative development of education in Ukraine..

Keywords: quality of education; vocational colleges; agricultural education; teacher readiness; professional agency; structural model; stages of formation.

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується швидкими технологічними, екологічними та соціально-економічними трансформаціями, які суттєво впливають на вимоги до якості освіти. У професійній освіті, зокрема аграрного спрямування, якість підготовки фахівців набуває стратегічного значення, оскільки безпосередньо визначає конкурентоспроможність агропромислового комплексу України, продовольчу безпеку держави та її спроможність відповідати викликам глобального ринку. Професійні коледжі

аграрного профілю відіграють ключову роль у підготовці висококваліфікованих спеціалістів середньої ланки, здатних впроваджувати інноваційні технології, сучасні методи господарювання та принципи сталого розвитку в аграрній сфері.

Однак забезпечення високої якості освіти в цих закладах значною мірою залежить від готовності викладацького складу не лише передавати професійні знання, а й системно впроваджувати сучасні підходи до оцінювання, проєктування освітніх програм, використання цифрових інструментів та забезпечення академічної доброчесності. У багатьох випадках викладачі професійних коледжів мають потужну галузеву експертизу, проте їхня педагогічна, методична, рефлексивна та цифрова готовність до системного забезпечення якості освіти часто залишається недостатньо сформованою. Це зумовлює розрив між вимогами сучасних стандартів освіти та реальною педагогічною практикою.

Модель формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти у професійних коледжах аграрного спрямування виокремлює три ключові підходи, що забезпечують розвиток такої готовності. Звертаючись до праць зарубіжних учених, зазначимо, що першим є трансформативний професійний розвиток, який характеризується сімома ознаками, визначеними Л. Дарлінг-Хеммонд та іншими [1]. Другим виступає колективне навчання відповідно до підходів Р. ДюФура та Р. Ікера [2]. Третім є включення циклів рефлексивної практики за Д. Шоном [6] та Ф. Кортхагеном [5].

Синтезуючи результати попереднього аналізу праць зарубіжних учених, нами запропонована чотирикомпонентна структурна модель формування готовності викладача до забезпечення якості освіти. Модель побудована навколо двох концептуальних осей: осі «індивід — інституція», яка розмежовує чинники індивідуального (викладацького) та організаційного рівнів, та осі «процес — результат», що диференціює процеси становлення готовності від очікуваних результатів забезпечення якості.

Рис. 2. Структурна модель формування готовності викладача до забезпечення якості освіти

У центрі запропонованої моделі розташовано інтегрувальний конструкт професійної агентності, який трактується як здатність і готовність викладача виявляти цілеспрямовану ініціативу у власному професійному розвитку та в інституційному забезпеченні якості освіти [7]. Професійна агентність розглядається як емерджентна властивість, що виникає внаслідок взаємодії чотирьох вимірів готовності зі сприятливими інституційними умовами. Такий підхід дає змогу уникнути як індивідуалістичного зведення якості освіти виключно до результатів діяльності окремого викладача, так і структуралістського розуміння якості лише як системного комплаєнсу.

Запропонована модель вносить суттєвий внесок як у теорію, так і в практику забезпечення якості освіти у професійних коледжах аграрного спрямування. У теоретичному аспекті вона розвиває відповідну галузь знань, створюючи цілісну концептуальну архітектуру шляхом інтеграції здобутків досліджень з педагогічної освіти, організаційного навчання, теорії забезпечення якості та фреймворків цифрової компетентності. Позиціонуючи професійну агентність як центральний

інтегрувальний конструкт, модель долає фрагментарність, характерну для багатьох попередніх підходів, у яких когнітивний, мотиваційний, рефлексивний та технологічний виміри розглядаються як паралельні й недостатньо взаємопов'язані компетентнісні домени.

У практичному плані модель пропонує чіткі орієнтири для проєктування програм підвищення кваліфікації викладачів та розроблення інституційних політик у сфері забезпечення якості. На відміну від традиційних комплаєнс-орієнтованих підходів, вона підкреслює, що сталий розвиток якості освіти вимагає цілеспрямованих інвестицій у мотиваційний та ідентичнісний виміри готовності викладача — аспекти, які часто недооцінюються в технічно зорієнтованих компетентнісних моделях. Цей висновок узгоджується з концепцією професійного капіталу А. Гаргрівса та М. Фуллана [4], згідно з якою сталий прогрес в освіті залежить від одночасного розвитку людського капіталу (знання та навички), соціального капіталу (відносини співпраці) та капіталу рішень (професійне судження).

Ці процеси значною мірою залежать від якості інституційного керівництва, відповідної державної освітньої політики та належного ресурсного забезпечення. Запропонована модель забезпечує подвійний ефект: на рівні навчального закладу вона сприяє вдосконаленню практик забезпечення якості освіти, а на індивідуальному рівні — зміцненню професійної ідентичності викладача, його психоемоційного добробуту та кар'єрної стійкості.

У контексті професійних коледжів аграрного спрямування така модель набуває особливої актуальності, оскільки передбачає органічну інтеграцію педагогічної майстерності з галузевими компетенціями, пов'язаними із сучасними технологіями сільськогосподарського виробництва, вирішенням екологічних викликів та інноваційними підходами до підготовки конкурентоспроможних фахівців для агропромислового комплексу.

Модель має важливе значення також для освітніх програм з підготовки

майбутніх педагогів. Якщо готовність викладача до забезпечення якості освіти формується системно й цілеспрямовано, то вже на етапі первинної підготовки майбутніх викладачів необхідно вводити відповідні концепції, професійні диспозиції та практичні навички, а не залишати їхній розвиток виключно на подальший практичний досвід.

Так, П. Гроссман зі співавторами наголошували, що програми підготовки педагогів мають активно залучати студентів до автентичних апроксимацій професійної діяльності з підвищення якості освіти – таких як взаємне спостереження за викладанням, спільний аналіз студентських робіт та участь у перегляді навчальних програм [3]. Саме такий підхід дозволяє формувати в майбутніх викладачів розуміння практик забезпечення якості як невід'ємної складової їхньої професійної ідентичності, а не як зовнішніх адміністративних вимог.

У контексті професійних коледжів аграрного спрямування це означає необхідність інтегрувати у навчальні плани педагогічної підготовки елементи, пов'язані з особливостями аграрної галузі – оцінюванням компетентностей майбутніх фахівців агропромислового комплексу, моніторингом якості практико-орієнтованої підготовки та забезпеченням відповідності освітніх програм сучасним викликам сільськогосподарського виробництва.

Для формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти в умовах інноваційного розвитку суспільства доцільно впроваджувати комплекс практичних напрямів реалізації моделі. До них належать школи педагогічної майстерності, центри забезпечення якості освіти, програми наставництва для молодих викладачів, педагогічні майстерні з розроблення силабусів, тренінги з оцінювання результатів навчання, семінари з академічної доброчесності, аудит навчальних курсів, системний аналіз студентського зворотного зв'язку, професійні спільноти викладачів, курси з цифрової педагогіки та використання штучного інтелекту в освіті, а також освітні лабораторії інноваційного

викладання.

Особливо важливо, щоб ці заходи не здійснювалися ізольовано, а становили складову частину цілісної, стратегічно виваженої політики професійного розвитку педагогічного персоналу закладу.

У контексті професійних коледжів аграрного спрямування зазначені напрями набувають додаткової специфіки й повинні орієнтуватися на інтеграцію загальнопедагогічних компетентностей з галузевими особливостями – сучасними технологіями сільськогосподарського виробництва, екологічними практиками, інноваційними методами підготовки фахівців агропромислового комплексу та вимогами до якості практико-орієнтованої освіти. Такий системний підхід забезпечує не лише формальне виконання вимог щодо якості, а й глибоке професійне зростання викладацького складу, посилення його агентності та адаптивності до швидкозмінних викликів аграрної галузі. Модель формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти передбачає чітку послідовність етапів.

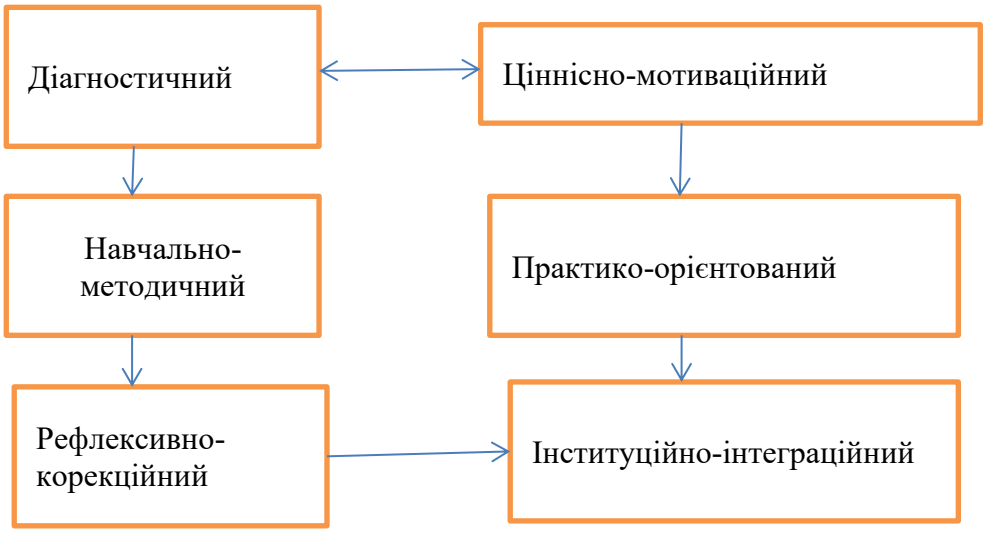


Рис. 1. Етапи формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти передбачає чітку послідовність етапів

Процес розпочинається з діагностичного етапу, на якому визначається

вихідний рівень педагогічної, цифрової, методичної та рефлексивної готовності викладачів. Далі слідує ціннісно-мотиваційний етап, спрямований на формування глибокого розуміння якості освіти як особистої професійної відповідальності та важливої умови розвитку навчального закладу.

Наступним є навчально-методичний етап, протягом якого викладачі опановують принципи студентоцентрованого навчання, конструктивної співпраці, валідного оцінювання, освітньої аналітики та цифрової педагогіки. Практико-орієнтований етап передбачає безпосередню розробку або оновлення силабусів, критеріїв оцінювання, навчальних завдань, цифрових ресурсів та інструментів зворотного зв'язку.

Рефлексивно-корекційний етап включає аналіз отриманих результатів, самооцінювання викладацької діяльності, експертної оцінки, урахування зворотного зв'язку від студентської спільноти та подальше удосконалення освітніх курсів. Завершує процес інституційно-інтеграційний етап, на якому викладач активно залучається до роботи груп забезпечення якості, перегляду освітніх програм, внутрішнього моніторингу та стратегічного планування розвитку закладу.

У контексті професійних коледжів аграрного спрямування зазначені етапи набувають галузевої специфіки. Вони повинні враховувати особливості підготовки фахівців агропромислового комплексу, сучасні технології сільськогосподарського виробництва, екологічні виклики та потреби у високому рівні практико-орієнтованої освіти. Така послідовна реалізація моделі забезпечує системний і стійкий розвиток готовності викладацького складу до забезпечення якості освіти.

Отже, у дослідженні розроблено й теоретично обґрунтовано модель формування готовності викладачів до забезпечення якості освіти у професійних коледжах аграрного спрямування. Центральним елементом моделі виступає професійна агентність викладача як інтегрувальний конструкт, що виникає в результаті взаємодії чотирьох вимірів готовності (когнітивного, мотиваційного, рефлексивного та технологічного) зі сприятливими інституційними умовами.

Модель побудована навколо двох концептуальних осей – «індивід – інституція» та «процес – результат» – і реалізується через три ключові процеси: трансформативний професійний розвиток, спільноти колективного навчання та цикли рефлексивної практики. Запропонована послідовність етапів (діагностичний, ціннісно-мотиваційний, навчально-методичний, практико-орієнтований, рефлексивно-корекційний та інституційно-інтеграційний) забезпечує системний і стійкий характер формування готовності педагогічних працівників.

Особливого значення модель набуває для професійних коледжів аграрного профілю, де забезпечення якості освіти вимагає органічного поєднання педагогічної майстерності з галузевими компетенціями, сучасними технологіями сільськогосподарського виробництва та інноваційними підходами до підготовки фахівців агропромислового комплексу.

Таким чином, системне формування професійної готовності викладачів на основі агентності та інституційної підтримки є перспективним шляхом підвищення якості освіти в сучасних умовах інноваційного розвитку суспільства.

Список використаних джерел

1. Darling-Hammond L. et al. Effective teacher professional development. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute, 2017. 68 p.
2. DuFour R., Eaker R. Professional learning communities at work : best practices for enhancing student achievement. Bloomington, IN : Solution Tree, 1998. 351 p.
3. Grossman P., Compton C., Igra D., Ronfeldt M., Shahan E., Williamson P. W. Teaching practice : a cross-professional perspective. *Teachers College Record*. 2009. Vol. 111, № 9. P. 2055–2100.
4. Hargreaves A., Fullan M. Professional capital : transforming teaching in every school. New York : Teachers College Press, 2012. 240 p.
5. Korthagen F. A. J. In search of the essence of a good teacher : towards a more holistic approach in teacher education. *Teaching and Teacher Education*. 2004. Vol. 20, № 1. P. 77–97.
6. Schön D. A. The reflective practitioner : how professionals think in action. New York : Basic Books, 1983. 374 p.
7. Toom A. et al. Teacher professional agency in contradictory times. *Teaching and Teacher Education*. 2015. Vol. 51. P. 1–12.

УДК 370 +378+51

Ніна Падалко, кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри теорії функцій та
методики навчання математики,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ЗМІСТОВОЇ ЛІНІЇ «ФУНКЦІЇ»

Анотація Мета роботи пошук ефективних підходів до використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі вивчення змістової лінії «Функція». Проаналізовано сучасний стан використання ІКТ у навчанні математики, охарактеризовано психолого-педагогічні умови ефективного засвоєння теми «Функція» та визначено потенціал цифрових середовищ GeoGebra, Desmos, LearningApps, Kahoot, Classtime у візуалізації функціональних залежностей. На основі узагальнення теоретичних положень і практичних спостережень розроблено методичні рекомендації щодо інтеграції ІКТ у навчальний процес. На основі науково-методичне обґрунтування досягнуто підвищення рівня засвоєння знань, розвитку пізнавальної активності та математичного мислення. учнів. Отримані результати мають практичне значення для педагогів, які прагнуть осучаснити навчальний процес, поєднуючи традиційні методи викладання з інноваційними підходами, орієнтованими на розвиток творчої та дослідницької активності учнів.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, функція, GeoGebra, Desmos, математична освіта, методика навчання, компетентності, інтерактивне навчання.

Abstract. The aim of the study is to identify effective approaches to the use of information and communication technologies in the process of studying the content area “Function.” The current state of ICT use in mathematics education is analyzed; the psychological and pedagogical conditions for the effective acquisition of the topic “Function” are characterized; and the potential of the digital environments GeoGebra, Desmos, LearningApps, Kahoot, and Classtime for visualizing functional relationships is determined. Based on the generalization of theoretical principles and practical observations, methodological recommendations for integrating ICT into the educational process have been developed. On the basis of scientific and methodological substantiation, an increase in students’ level of knowledge acquisition, cognitive activity, and mathematical thinking has been achieved.

The obtained results have practical significance for educators who seek to modernize the educational process by combining traditional teaching methods with

innovative approaches focused on the development of students' creative and research activity.

Keywords: information and communication technologies, function, GeoGebra, Desmos, mathematics education, teaching methodology, competencies, interactive learning.

Аналіз даних підтверджує, що інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у навчальний процес не лише позитивно впливає на засвоєння знань, але й позитивно впливає на мотивацію до навчання та емоційне благополуччя учнів. Учні більш активно залучені до навчального процесу, із задоволенням взаємодіють один з одним, обмінюються результатами навчання та отримують задоволення від своїх успіхів.

Результати навчального експерименту демонструють, що запропонований метод застосування інформаційно-комунікаційних технологій для функціонального навчання є ефективним з освітньої, психологічної та педагогічної точок зору. Він піднімає освітній процес на новий рівень, поєднуючи логічну точність математичних знань з креативністю сучасних цифрових інструментів. Здобувачі освіти, які брали участь у цій моделі навчання, не лише досягли кращих академічних результатів, але й розвинули важливі навички, такі як аналітичне мислення, критична оцінка інформації, креативне мислення та здібності до самоврядування.

Проведений аналіз результатів підтвердив, що використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі вивчення змістової лінії «Функції» підвищує ефективність навчання, розвиває пізнавальну активність і сприяє становленню особистості сучасного учня як суб'єкта освітнього простору, здатного до самонавчання, саморозвитку та інтелектуальної ініціативи.

Цифровізація навчального процесу є об'єктивною вимогою часу, яка потребує переосмислення традиційних підходів до викладання математики. Доведено, що впровадження ІКТ сприяє підвищенню якості засвоєння знань,

розвитку пізнавальної активності, формуванню критичного мислення й здатності до самостійного навчання.

Поняття функції слугує єдиною основою для вивчення різних розділів алгебри та вступних знань з аналізу, тому необхідні сучасні навчальні матеріали. Висновок вказує на те, що використання цифрових ресурсів може зробити процес вивчення функцій більш інтуїтивним, гнучким та практичним.

Досліджено методи навчання в сучасних школах, проаналізовано можливості традиційних та інноваційних методів навчання (особливо проблемного навчання, навчання на основі діяльності та навчання на основі компетентностей). Дослідження показало, що поєднання традиційних лекційних методів з інтерактивними технологіями, які забезпечують активну участь учнів у пізнавальній діяльності та стимулюють розвиток їхніх дослідницьких здібностей, може досягти ефективного навчання.

Дослідження показало, що ця тема допомагає здобувачам освіти самостійно будувати моделі функціональних зв’язків, спостерігати за змінами параметрів та досліджувати закономірності. Крім того, дослідження демонструє, що візуалізація функцій за допомогою графічних редакторів може покращити розуміння учнями теоретичних знань та розвинути їхні навички аналітичного мислення. Сучасні програми орієнтуються на формування компетентностей, вони потребують більш системного впровадження цифрових засобів для реалізації принципів наочності, дослідності та інтерактивності.

Проаналізовано, наскільки ефективно в них представлено матеріал щодо степеневої функції, які можливості вони створюють для розвитку візуального мислення та самостійності учнів. Встановлено, що підручники переважно орієнтуються на репродуктивний стиль навчання, тому потребують доповнення за рахунок інтеграції ІКТ-завдань, онлайн-практикумів і динамічних моделей.

З’ясовано, що цифрові інструменти дають змогу індивідуалізувати навчання, урізноманітнити форми діяльності, підвищити рівень самоконтролю й

відповідальності учнів. Встановлено, що ІКТ сприяють реалізації принципів інтерактивності, візуалізації, диференціації та безперервного зворотного зв'язку.

Проведено порівняльний аналіз освітніх цифрових ресурсів для вивчення функцій. Досліджено можливості GeoGebra, Desmos, LearningApps, Google Classroom, Kahoot та інших платформ. Встановлено, що найбільш ефективними є інструменти, які забезпечують інтерактивність, візуалізацію та миттєвий зворотний зв'язок. Проаналізовано переваги й обмеження кожного інструменту, визначено педагогічні умови їх оптимального використання в освітньому процесі.

Методика впровадження ІКТ у процес вивчення функцій, що поєднує демонстраційні, інтерактивні та рефлексивні моделі навчання. Завдяки ІКТ підвищується якість розуміння функціональних залежностей, зростає рівень мотивації та самостійності учнів. Встановлено, що ефективність цифрового навчання підтверджується зростанням середнього балу та позитивними результатами анкетування школярів.

Виявлено суттєве покращення показників навчальної успішності та пізнавальної активності учнів. Досліджено динаміку середніх балів, рівень сформованості компетентностей і зміну ставлення до навчання. Встановлено, що приріст показників в експериментальній групі становив понад 26%, тоді як у контрольній – лише близько 7%. Проаналізовано результати анкетування, які свідчать, що понад 90% учнів сприймають цифрові засоби як зручний, цікавий і ефективний інструмент навчання. Доведено, що ІКТ забезпечують позитивний вплив на когнітивний, мотиваційний і діяльнісний аспекти навчання.

Узагальнення проведеного дослідження дозволило підтвердити гіпотезу про те, що системне впровадження ІКТ у процес вивчення функцій є дієвим чинником підвищення якості математичної освіти. Проаналізовано педагогічні умови ефективності цифрового навчання, зокрема методичну підготовку вчителя, технічне забезпечення, доступ до ресурсів і наявність навчальних матеріалів.

Встановлено, що впровадження ІКТ формує в учнів цифрову культуру, навички самоосвіти, вміння аналізувати дані та працювати з математичними моделями.

Список використаних джерел

1. Падалко Н. Й., Падалко А. М. Особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні дисциплін математичного циклу. *Математика, інформаційні технології*. 2020. С. 52-60.
2.Padalko A., Padalko H., Padalko N. On Using Information and Communication Technologies in Process of Mathematical Specialties Education. In: *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_61
3. Нісімчук А. С., Падалка О. С., Шпак О. Т. Сучасні педагогічні технології. Київ: Видавничий центр «Просвіта», 2000. 365 с.

УДК 004.942

Ольга Зінов'єва, старший викладач
кафедри комп'ютерних наук,
Віталіна Галчанська, асистент
кафедри комп'ютерних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ТА НЕВИЗНАЧЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. У статті розглядаються особливості застосування нечітких методів багатокритеріального прийняття рішень в умовах неповної та невизначеної вхідної інформації

Ключові слова: нечітка логіка, метод аналізу ієрархій, метод TOPSIS, підтримка прийняття рішень, багатокритеріальний аналіз, неповна інформація.

Abstract. The article considers the features of the application of fuzzy methods of multi-criteria decision-making in conditions of incomplete and uncertain input information

Keywords: fuzzy logic, analysis of hierarchy method, decision support, multi-criteria analysis, incomplete information.

В сучасних умовах розвитку інформаційних технологій та зростання складності управлінських процесів особливої актуальності набувають задачі підтримки прийняття рішень. У багатьох практичних ситуаціях особа, яка приймає рішення, змушена працювати в умовах невизначеності, неповноти даних, неоднозначності оцінок та впливу суб'єктивних факторів. Для вирішення таких задач застосовуються методи багатокритеріального прийняття рішень. Поєднання нечіткої логіки з методами багатокритеріального аналізу дозволяє враховувати експертні оцінки, лінгвістичні змінні та неповну інформацію, що значно підвищує адекватність та гнучкість процесу прийняття рішень [1].

Теорія нечіткої логіки була запропонована американським вченим Лотфі Заде у 1965 році. Основна ідея нечіткої логіки полягає у тому, що багато реальних

понять не можуть бути описані лише за допомогою класичної двійкової логіки, де значення змінної дорівнює або 0, або 1.

В реальних задачах оцінки часто мають нечітко виражений характер, наприклад: «високий рівень ризику», «середня ефективність», «низька вартість», «достатньо надійна система». Нечітка логіка дозволяє формалізувати такі оцінки за допомогою функцій належності. Елемент може частково належати до множини зі ступенем належності від 0 до 1.

Для представлення нечітких оцінок часто використовують трикутні нечіткі числа, функція належності яких може бути задана виразом:

$$\mu = \begin{cases} 0, & x \le a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b, \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le x \le c, \\ 0, & c \le x, \end{cases}$$

де b – мода або чітке значення трикутного нечіткого числа, a та c - характеризують ступінь розмитості чіткого числа.

Таке представлення дозволяє враховувати невизначеність експертних оцінок та неповноту інформації.

Метод аналізу ієрархій (MAI) був запропонований Томасом Сааті та є одним з найпоширеніших методів багатокритеріального прийняття рішень. Суть методу полягає в декомпозиції складної задачі на ієрархічну структуру, яка складається з мети, рівня критеріїв та підкритеріїв, рівня альтернатив. Метод аналізу ієрархій був розроблений для полегшення завдання вибору однієї з наявних альтернатив у тих випадках, коли потрібне багатофакторне порівняння альтернатив, при цьому не завжди таке порівняння проводиться за кількісними характеристикам.

У класичному методі аналізу ієрархій виконується попарне порівняння критеріїв та альтернатив за шкалою Сааті. Наприклад, експерт визначає, наскільки один критерій важливіший за інший.

У реальних задачах експерти часто не можуть надати т очні числові оцінки важливості критеріїв. Наприклад, при оцінюванні інформаційної системи експерт може стверджувати, що критерій безпеки є значно важливішим за критерій вартості, однак важко визначити точне числове співвідношення . Саме тому класичний метод аналізу ієрархій був модифікований із використанням нечіткої логіки. В нечіткому MAI для переведення вербальних суджень експертів у ТНЧ використовується стандартна лінгвістична шкала (табл. 1):

Таблиця 1. Відповідність лінгвістичних оцінок і трикутних нечітких чисел

Лінгвістична оцінка	Шкала Сааті	Трикутні нечіткі числа
Однаково важливо	1	(1,1,1)
Помірна перевага	3	(2,3,4)
Суттєва перевага	5	(4,5,6)
Значна перевага	7	(6,7,8)
Абсолютна перевага	9	(8,9,9)

Нехай задано *n* критеріїв. Матриця парних порівнянь у нечіткій формі: $\tilde{A}=\left[\tilde{a}_{ij}\right]$, де $\tilde{a}_{ij}=\left(l_{ij},m_{ij},u_{ij}\right)$ - трикутні нечіткі числа. Алгоритм Чанга [3] передбачає такі кроки:

1) На першому кроці засобами нечіткої арифметики розраховуються суми по рядках матриці:

$$RS_i=\sum_{j=1}^{n}\tilde{a}_{ij}=\left(\sum_{j=1}^{n}l_{ij},\sum_{j=1}^{n}m_{ij},\sum_{j=1}^{n}u_{ij}\right),\quad i=1\ldots n$$

2) На другому кроці нормалізуються ці суми:

$$\tilde{S}_i=\frac{RS_i}{\sum_{j=1}^{n}RS_j},$$

3) Розраховується ступінь можливості того, що $S_i\geq S_j$:

$$V\left(S_i \geq S_j\right) = \begin{cases} 1, & m_i \geq m_j, \\ \dfrac{u_i - l_j}{\left(u_i - m_i\right) + \left(m_j - l_j\right)}, & l_j \leq u_j, \quad i,j = \overline{1,n}; \\ 0 & other \end{cases}$$

4) Розраховується ступінь можливості того, що S_i переважає всі інші нечіткі числа:

$$V\left(S_i \geq S_j \middle| j = \overline{1,n}; j \neq i\right) = \min_{j \in \{1,\ldots,n\}, j \neq i} V\left(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j\right), \quad i = 1,\ldots,n.$$

5) Визначається вектор пріоритетів $W = \left(w_1, w_2, \ldots, w_n\right)^T$ нечіткої матриці:

$$w_i = \frac{V\left(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_i \middle| j = 1,\ldots,n; j \neq i\right)}{\sum_{k=1}^{n} V\left(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_i \middle| j = 1,\ldots,n; j \neq k\right)}, \quad i = 1,\ldots,n.$$

Результатом є чіткий вектор ваг $w = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$, де нечіткість претворено через ступінь можливості.

Попри значні переваги, метод має певні обмеження:

- складність математичних розрахунків;
- залежність від компетентності експертів;
- значні обчислювальні витрати;
- складність побудови функцій належності;
- можливість різних результатів при використанні різних методів дефазифікації.

Проте завдяки розвитку сучасного програмного забезпечення та систем підтримки прийняття рішень використання Fuzzy AHP стає дедалі доступнішим у практичних застосуваннях.

Нечіткі методи багатокритеріального вибору альтернатив є ефективним інструментом підтримки прийняття рішень в умовах неповної інформації та невизначеності. Використання нечіткої логіки дозволяє враховувати суб'єктивні експертні оцінки, лінгвістичні змінні та неточність даних.

Список використаних джерел

1. Рясна І. І., Сенько І. О., Сенько О. Є. Нечіткий підхід до моделювання та розв'язування задач упорядкування та вибору. *Вісник ХНТУ* 2022. № 3(82). С. 74-82.
2. Da-Yong Chang. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 1996. Vol. 95, Issue 3. P. 649-655.

УДК 37.091.12

Людмила Майборода, науковий співробітник
Інститут професійної освіти НАПН України,
м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОФЕСІЙНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація. У статті обґрунтовано методику організації професійно-практичної підготовки майбутніх фахівців зеленого будівництва в умовах євроінтеграції та повоєнної відбудови України. Визначено її ключові компоненти, що охоплюють створення екологічного внутрішнього середовища закладу освіти, впровадження дискриптерів GreenComp та принципів моделі «3R» у навчальні плани і програми професійно-практичної підготовки, застосування інноваційних екоорієнтованих технологій та активну співпрацю із соціальними партнерами. Проаналізовано сучасні підходи до інтеграції Європейської рамки «зелених» компетентностей (GreenComp) у навчальний процес. Приділено увагу практико-орієнтованого значення економіки замкненого циклу у формуванні «зелених» професійно-практичних навичок майбутніх фахівців.

Ключові слова. професійно-практична підготовка, зелене будівництво, GreenComp, економіка замкненого циклу, інноваційні технології.

Abstract. The article substantiates the methodology of organizing vocational and practical training for future green construction specialists in the context of European integration and the post-war reconstruction of Ukraine. Its key components are determined, encompassing the creation of an ecological internal environment in the educational institution, the integration of GreenComp descriptors and the "3R" model principles into vocational and practical training curricula and programs, the application of innovative eco-oriented technologies, and active cooperation with social partners. Modern approaches to the integration of the European Green Competence Framework (GreenComp) into the educational process are analyzed. Particular attention is paid to the practice-oriented significance of the circular economy in forming the "green" vocational and practical skills of future specialists.

Keywords: vocational and practical training, green construction, GreenComp, circular economy, innovative technologies.

Сучасний вектор розвитку України, орієнтований на євроінтеграцію та стратегію Європейського зеленого курсу (European Green Deal), вимагає докорінної зміни філософії будівництва. Повоєнна відбудова держави не може відбуватися за

застарілими, ресурсомісткими технологіями. Вона має базуватися на принципах «зеленого будівництва» (Green Building), енергоефективності та мінімізації вуглецевого сліду.

Проте, ринок праці відчуває гострий дефіцит кадрів, здатних працювати з екоматеріалами, технологіями термомодернізації та відновлюваними джерелами енергії. Професійна підготовка має випереджати ці запити, що обґрунтовує інтеграцію інструментів GreenComp та циркулярної економіки в освітній процес.

Питання інтеграції «зелених» компетентностей (*GreenComp*) в освітній простір сьогодні перебуває в центрі уваги широкого кола науковців, педагогів та практиків, які пропонують різноманітні підходи до вирішення цієї проблеми. GreenComp пропонує чіткий перелік компетенцій, які мають бути, передусім враховані у професійних стандартах та інтегровані в освітні програми для формування в майбутніх фахівцях екологічних знань, практичних умінь та відповідних цінностей [6].

Науковці розглядають різні напрями екологізації освіти, серед яких: нормативно-змістове оновлення програм через професійні та освітні стандарти [4]; впровадження спеціалізованих дисциплін [11]; використання гнучких форматів навчання у вигляді мікроуроків, що базуються на європейській рамці GreenComp [9]; неформальна освіта [1; 7]; застосування інноваційних методів, екоорієнтованих педагогічних технологій [3; 5], практико-орієнтованого навчання шляхом упровадження міждисциплінарних практик, воркшопів, літніх шкіл та практико орієнтованого навчання [2; 9]; загальноінституційний підхід як інтеграцію принципів сталого розвитку в усі сфери діяльності установи: від управління та озеленення інфраструктури до залучення громади й моніторингу результатів [10].

Сучасні вимоги «зеленого» ринку праці орієнтовані на циркулярну економіку (Circular Economy) яка відображена в моделі «3R» – Reduce, Reuse, Recycle (зменшення-вторинне використання-переробка). Впровадження концепції «Reduce, Reuse, Recycle» у професійно-практичну підготовку майбутніх фахівців

зеленого будівництва (будівельного профілю), має практико орієнтоване значення у формуванні «зелених» професійно-практичних навичок (таб.1).

Таблиця 1. Практико-орієнтоване значення «3R» у формування «зелених» професійно-практичних навичок майбутніх фахівців зеленого будівництва

Принцип «3R»	**Зміст «3R» у будівельній сфері**	**«Зелені» професійно-практичні навички майбутніх фахівців**
Reduce *(Зменшення)*	Обмеження споживання, відмова від зайвого та раціональне використання ресурсів задля мінімізації відходів.	Навички точного розрахунку матеріалів, зокрема за допомогою BIM-технологій, для мінімізації залишків; свідомий вибір енергоефективних технологій.
Reuse *(Вторинне використання)*	Надання речам «другого життя», ремонт, реставрація або використання предметів за іншим призначенням.	Використання демонтованої цегли, деревини, металевих конструкцій тощо, задля реалізації нових проектів, відновлення об’єктів, тимчасових споруд тощо.
Recycle *(Переробка)*	Сортування сміття та промислова переробка відходів для створення нової сировини чи продукції.	Сортування будівельного брухту (бетону, асфальту, гіпсу) для подальшого вторинного використання як щебню , наповнювача тощо.

Зазначимо, що інтеграція GreenComp і «3R» у професійно-практичну підготовку фахівців зеленого будівництва не повинно розглядатися в межах окремих навчальних компонентів, а має відбуватись за принципами наскрізності, загальноінституційного підходу та філософії економіки замкненого циклу (Reduce, Reuse, Recycle). Дескриптори «зелених» компетентностей мають бути інтегровані в увесь освітній процес професійної підготовки майбутніх фахівців, від створення «зелених» умов навчання (зеленого навчального середовища) до «зеленої» виробничої практики. Отже, заначимо ключові компоненти методики організації професійно-практичної підготовки майбутніх фахівців зеленого будівництва:

1. Створення екологічного освітнього внутрішнього середовища, що має базуватися на принципах сталого розвитку закладу освіти, впроваджуватися через

енергозберігаючі технології, сортування відходів, ремонт обладнання й інструментів, екологічне харчування тощо, популяризацію еко-культури серед всіх учасників освітнього процесу (учнів, педагогічних працівників, технічного персоналу);

2. Впроваджння дискриптерів GreenComp та принципів моделі «3R» у навчальні плани і програми професійно-практичної підготовки, плани самостійної роботи, організацію виховної діяльності тощо;

3. Застосування інноваційних технологій, екоорієнтованих педагогічних технологій, форм і методів навчання у формальній та неформальній освіті (онлайн-платформи, тренінги, воркшопи, проєктна діяльність, гейміфікація, симуляції, рольові ігри, професійні конкурси, гуртки, екскурсії та походи тощо), використання BIM-технологій;

4. Співпраця із соціальними партнерами.

Впровадження дескрипторів *GreenComp* та принципів 3R сприяє трансформації екологічної свідомість із абстрактної теорії у конкретні професійно-практичні «зелені» навички/компетентності, що дозволить закладам освіти готувати екологічно відповідальних, технологічно грамотних та затребуваних фахівців, які стануть головною рушійною силою якісної та сталої відбудови України.

Список використаних джерел

1. Гринченко Г., Нестеренко Р., Кипоренко О. Освоение «зеленых» компетенций в неформальном образовании: Европейский зеленый курс. *Проблемы инженерно-педагогического образования.* 2022. № 77. https://doi.org/10.32820/2074-8922-2022-77-5-12
2. Кухтик С. В., Балабух В. О. Кліматична освіта для зеленої відбудови: виклики, методи та практичні кейси. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*. 2025. № 2(8). https://doi.org.ua/10.15407/Meteorology2025.08.081
3. Розроблення й застосування екоорієнтованих педагогічних технологій для професійної підготовки майбутніх кваліфікованих робітників будівельної, аграрної галузей та сфери ресторанного господарства : методичний посібник / О. В. Гайдук

[та ін.] ; ІПО НАПН України. Київ : ІПО НАПН України, 2022. URL: https://lib.iitta.gov.ua/733669/ (дата звернення 07.05.2026).
4. Сучасні професійні кваліфікації для сталого розвитку зеленої економіки / В. О. Радкевич [та ін.]. *Екологічні науки*. 2023. № 6(51). С. 224–230. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.37
5. Трутень А. В., Толочко С. В. Інноваційні методи та технології у формування екологічної компетентності в учнів старших класів. *Вісник науки та освіти*. 2024. № 5(23). https://doi.org/10.52058/2786-6165-2024-5(23)-1525-1540
6. Bianchi G., Pisiotis U., Cabrera Giraldez M. GreenComp: The European sustainability competence framework / ed.: Y. Punie, M. Bacigalupo. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. https://doi.org/10.2760/13286
7. GreenComp: European competence framework in the field of sustainable development and ways of its implementation into Ukrainian educational sphere and legislation / V. L. Bredikhina [et al.]. *Juridical Scientific and Electronic Journal*. 2024. № 10. P. 200–204. https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-10/45
8. A compendium of good practices for learning environments for sustainability / European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2025. https://data.europa.eu/doi/10.2766/4545090 (дата звернення 07.05.2026).
9. Learning from practice – A compendium of case studies on GreenComp / ed.: Z. Javorka [et al.]. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2024. https://data.europa.eu/doi/10.2766/588205 (дата звернення 07.05.2026).
10. Majumdar S., Hopkins C. Greening technical and vocational education and training: A practical guide for institutions. Bonn : UNESCO-UNEVOC International Centre for Technical and Vocational Education and Training, 2017. URL: https://unevoc.unesco.org/home/UNEVOC+Publications/lang=en/akt=detail/qs=6032 (дата звернення 07.05.2026).
11. Sierikova O. Implementation of the educational component «Green technologies of urban ecosystems» in the educational process. Exploring the digital landscape: interdisciplinary perspectives. Katowice : The University of Technology in Katowice Press, 2024. P. 994–1005. DOI: 10.54264/M036. URL: https://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/20472/1/Sierikova_paper_Poland.pdf (дата звернення 07.05.2026).

УДК 37.018.43:004

Віолетта Гурчонок, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, спеціальність 111 Математика
ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Лубни, Україна

NO-CODE ІНСТРУМЕНТИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ЗАСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ ВЧИТЕЛЯ ДО УРОКУ

Анотація. В статті розглядається проблема перевантаженості вчителів математики та ризики використання загальнодоступних систем штучного інтелекту для пошуку навчальних матеріалів. Як метод вирішення цієї проблеми, пропонується використання застосування No-Code інструментів на основі ШІ як персоналізованого рішення для автоматизації рутинних завдань педагога. Як один із варіантів пропонується розроблений застосунок на базі Google AI Studio, що генерує структурований конспект уроку на основі конкретних заданх умов відбору літератури та підручників на базі освітніх стандартів. Розгляд данного підходу відкриває перспективу зниження навантаження на педагога та водночас актуалізує проблему мінімізації ризиків отримання недостовірної інформації, що постає як важливе питання для подальших наукових досліджень у сфері освітньої новітніх інформаційних технологій.

Ключові слова: No-Code інструменти, штучний інтелект, професійне вигоряння вчителів, підготовка до уроку, персоналізовані освітні технології, Google AI Studio.

Abstract. The article addresses the problem of mathematics teachers’ overload and the risks associated with using publicly available artificial intelligence systems to search for educational materials. As a method of solving this issue, the use of No-Code AI-based tools is proposed as a personalized solution for automating teachers’ routine tasks. One suggested option is an application developed on the basis of Google AI Studio, which generates a structured lesson plan according to specific conditions for selecting literature and textbooks aligned with educational standards. Consideration of this approach opens up the prospect of reducing teachers’ workload while simultaneously highlighting the relevance of minimizing the risks of receiving unreliable information—an important issue for further scientific inquiry in the field of modern educational information technologies.

Keywords: No-Code tools, artificial intelligence, teacher professional burnout, lesson preparation, personalized educational technologies, Google AI Studio.

Педагогічна діяльність в сучасному світі характеризується значним рівнем навантаження на вчителя, що значно виходить за межі безпосереднього проведення уроків.

Підготовка навчальних матеріалів, пошук актуальної літератури, ведення документації та постійна адаптація до нових освітніх стандартів – усе це вимагає від педагога часових і когнітивних ресурсів, яких хронічно бракує. Як зазначає Г. О. Латіна, витрати часу на перевірку зошитів, роботу з документацією та підготовку до уроку становлять до 5,24 год денного навантаження, а домашня підготовка до занять займає від 1 до 6 год додатково [6]. При цьому дослідниця фіксує порушення режиму праці та відпочинку педагогів через збільшення тижневого навантаження та відсутність регламентації позаурочної роботи [6].

Результати опитування, проведеного Ю. Жуком, А. Гривко та Л. Ващенко (2025), підтверджують: 58,6% педагогів мають ознаки психологічного та/або професійного вигоряння [3]. А. В. Барбінова наголошує, що необхідність постійного оновлення наукового, методичного та дидактичного змісту подачі навчального матеріалу є одним із ключових факторів, що призводять до вигоряння [1]. П. Г. Комарова підкреслює: психологічні й фізичні перевантаження педагогів спричиняють виснаження моральних і фізичних сил, що позначається як на ефективності діяльності, так і на психологічному самопочутті вчителя [5].

Проблема не лише у кількості завдань, а й у якості ресурсів для їх вирішення. Традиційний пошук навчальних матеріалів – через бібліотеки, бази даних, пошукові системи – є трудомістким і не завжди ефективним. Інтеграція української освіти в європейський освітній простір вимагає від учителів професійної мобільності та здатності сприймати інновації [8], однак інструменти, що реально полегшують цю адаптацію, залишаються недостатньо впровадженими в повсякденну практику.

Дослідники вже звертають увагу на потенціал штучного інтелекту в цьому контексті. О. В. Васильєв зазначає, що ШІ сприяє автоматизації рутинних завдань

та створенню більш ефективних програм навчання [2]. Однак використання загальнодоступних ШІ-інструментів без чіткого налаштування має суттєві обмеження: вони аналізують широкий масив загальнодоступної інформації та видають результати, які потребують тривалої ручної перевірки та фільтрації.

О. В. Задерейко вказує, що дослідники часто стикаються з проблемою генерування ШІ недостовірного контенту, надання неточних описів наукових публікацій та посилань на неіснуючі веб-ресурси [4]. Процес ідентифікації та верифікації джерел значно подовжує загальний процес роботи з матеріалами, а пошуковий потенціал систем ШІ обмежений їх доступом до електронних ресурсів [4]. Тобто без додаткового налаштування ШІ може не зменшити, а збільшити навантаження на педагога.

Водночас дослідження О. О. Москаленко та Т. А. Григорової демонструє: для вирішення завдань ефективної фільтрації зайвої інформації та автоматичного формування правильних пошукових запитів необхідно використовувати алгоритми штучного інтелекту [7]. Це вказує на принципово інший підхід – не загальний пошук у мережі, а налаштована робота ШІ в межах конкретно заданих джерел.

Саме тут відкривається потенціал No-Code інструментів на основі ШІ. На відміну від загальнодоступних чат-ботів, No-Code платформи дозволяють налаштувати застосунок один раз — індивідуально, під конкретні потреби педагога – і надалі отримувати достовірний, структурований результат без необхідності ручної фільтрації. Ключова ідея полягає не в тому, щоб шукати інформацію серед усього доступного в інтернеті, а в тому, щоб самостійно визначити джерела і дозволити ШІ працювати виключно з ними, у чітко заданих рамках.

Як практичний приклад такого підходу, нами розроблено застосунок на базі Google AI Studio, що генерує тематичний конспект уроку на основі трьох параметрів: тип навчального закладу, назва предмета та тема уроку. Застосунок використовує конкретні підручники та навчальні стандарти як базу даних – ШІ бере інформацію виключно з них, формуючи структурований конспект із завданнями в

обраному педагогом стилі. При цьому застосунок легко модифікується в процесі роботи: вчитель може додати власні критерії відбору матеріалу, змінити оформлення, обрати тип завдань – усе це без жодного програмування.

Такий підхід вирішує одразу дві актуальні проблеми. По-перше, знімає рутинне навантаження з педагога: замість годин пошуку та фільтрації матеріалів – готовий конспект за лічені хвилини. По-друге, мінімізує ризик недостовірності інформації, адже ШІ працює не з безмежним інтернетом, а з конкретно визначеними перевіреними джерелами. Це дозволяє педагогу зосередитися не на рутині, а на творчому й методичному наповненні уроку.

Таким чином, No-Code інструменти на основі ШІ є перспективним напрямом підтримки педагогічної діяльності. Їх упровадження в практику підготовки вчителів математики може стати реальним кроком до зниження професійного вигоряння та підвищення якості навчальних матеріалів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку типових шаблонів налаштування таких інструментів для різних навчальних дисциплін та рівнів освіти.

Список використаних джерел

1. Барбінова А. В. Профілактика професійного вигорання у вчителів як передумова успішної педагогічної діяльності. *Методика навчання природничих дисциплін у середній та вищій школі:* Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. 2020. С. 126–128.
2. Васильєв О. В. Можливості та ризики використання штучного інтелекту в освіті: вплив на формування цифрової компетентності педагогів. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 14. https://doi.org/10.5281/zenodo.14761930
3. Жук Ю., Гривко А., Ващенко Л. Труднощі та проблеми в професійній педагогічній діяльності: суб'єктивна думка вчителів. *Український педагогічний журнал*. 2025. № 2. С. 5–18. https://doi.org/10.32405/2411-1317-2025-2-5-18
4. Задерейко О. В. Особливості пошуку наукової інформації з застосуванням систем штучного інтелекту. 2025. С. 401–405.
5. Комарова П. Г. Прояви синдрому професійного вигорання у вчителів (в умовах роботи закладів нового типу). 2012. URL: http://umo.edu.ua/images/content/nashi_vydanya/stud_almanah/23.pdf (дата звернення 08.05.2026)

6. Латіна Г. О. Оцінка напруженості трудового процесу вчителя загальноосвітнього навчального закладу. *Укр. журнал з проблем медицини праці*. 2006. № 4 (8). С. 35–40.
7. Москаленко О. О., Григорова Т. А. Особливості пошуку навчальної та наукової інформації в системах електронного навчання. *Системи та засоби штучного інтелекту*. 2018. С. 80–85.
8. Ільницька К., Миколайко В. Особливості практичної підготовки здобувачів вищої освіти педагогічних спеціальностей в умовах запровадження воєнного стану. Зб. наук. тез доп. III міжнар. наук.-практ. конф. 2022. С. 95–98.

УДК 37.018.43

Віолетта Гурчонок, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, спеціальність 111 Математика
ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», м. Лубни, Україна

ПІДВИЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ МОТИВАЦІЇ СТУДЕНТІВ ЗАСОБАМИ NO-CODE/AI-ЗАСТОСУНКІВ: ДОСВІД ВИКЛАДАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ

Анотація. У статті розглядається проблема мотивації студентів вищої школи в умовах цифровізації освіти. Обґрунтовано роль No-Code інструментів на основі штучного інтелекту як засобу підвищення зацікавленості студентів, їхньої групової активності та внутрішньої мотивації до навчання. Представлено практичний досвід використання двох навчальних застосунків, створених на базі Google AI Studio, під час занять з вищої математики. За результатами опитування студентів до та після заняття зафіксовано суттєве підвищення зацікавленості матеріалом, його доступності та мотивації до подальшого навчання.

Ключові слова: No-Code інструменти, штучний інтелект, мотивація студентів, гейміфікація, вища математика, Google AI Studio, інтерактивне навчання.

Abstract. The article examines the problem of higher education students' motivation in the context of digitalisation. The role of No-Code AI-based tools as a means of increasing students' engagement, group activity, and intrinsic motivation to learn is substantiated. Practical experience of using two educational applications created with Google AI Studio during higher mathematics classes is presented. Based on pre- and post-class student surveys, significant improvements in interest in the material, its accessibility, and motivation to attend future lectures were recorded.

Keywords: No-Code tools, artificial intelligence, student motivation, gamification, higher mathematics, Google AI Studio, interactive learning.

Мотивація студентів є однією з ключових умов ефективності освітнього процесу. П. Сікорський та Н. Красильніков наголошують, що якість навчальних матеріалів є основним фактором, який впливає на мотивацію студентів: якщо матеріал є цікавим, корисним і практичним, мотивація підвищується автоматично [6]. Дослідники також підкреслюють, що використання інтерактивних методів –

веб-конференцій, онлайн-дискусій, віртуальних лабораторій – робить процес навчання більш захоплюючим і заохочує студентів до активної участі [6]. Разом із тим, як зазначають Т. О. Лещенко та О. М. Шевченко, високий рівень мотивації сприяє успішному навчанню, тоді як низька успішність є прямим наслідком байдужого та немотивованого ставлення до навчання [5].

Аналіз наукової літератури демонструє різноманітність підходів до розуміння мотивації. О. В. Дробот розглядає мотивацію як динамічний процес безперервного вибору і прийняття рішень, що пояснює цілеспрямованість дії, організованість і стійкість цілісної діяльності, спрямованої на досягнення певної мети [3]. Т. О. Лещенко та О. М. Шевченко систематизують структурні компоненти мотивації через концепцію Б. Додонова: задоволення від діяльності, значущість результатів для особистості, сила мотивуючої винагороди та особистісний тиск [5]. У контексті навчальної діяльності дослідниці виокремлюють дві групи мотивів: внутрішні – пов’язані з самим процесом навчання, задоволенням від діяльності та набуттям нових знань, і зовнішні – що включають соціальне визнання та матеріальні вигоди [5]. Зазначимо, що застосунки для практичних завдань і навчальних ігор безпосередньо задіюють саме внутрішню мотивацію: студент навчається не заради оцінки, а тому що процес є захоплюючим і значущим для нього особисто.

Попри усвідомлення важливості мотивації, у сучасній освіті вона залишається однією з найгостріших проблем. Н. О. Арістова та І. А. Махович зазначають, що мотивація навчальної діяльності студентів стає в умовах сучасних перетворень в українській освіті однією з пріоритетних проблем, пов’язаних із постійним оновленням змісту навчання та формуванням потреби самостійного отримання знань [1]. Дослідниці також вказують, що в більшості випадків основним мотиватором залишається система оцінювання, однак оцінка сама по собі не є достатнім стимулом для глибокого вдосконалення [1]. Для реалізації особистісно-орієнтованого підходу, як підкреслює Т. О. Докучина, необхідно

розробляти інноваційні технології, що сприяють успішному засвоєнню знань, і впроваджувати новітні технології для стимулювання позитивної мотивації навчання [2].

No-Code інструменти на основі штучного інтелекту відкривають якісно новий вимір педагогічної взаємодії зі студентами. Їхня роль є простою, але багатофункційною. По-перше, це потужний засіб для пояснення теми: коли поряд з лекцією є живий, інтерактивний застосунок – він стає конкретною візуалізацією абстрактного матеріалу. Візуальне сприйняття закладено в людині природою, і коли студент бачить саме те, про що йому розповідають, матеріал стає одночасно і цікавим, і більш зрозумілим. По-друге, можливість створювати практичні роботи або ігри з елементами візуалізації безпосередньо залучає студентів до нового стилю сприйняття інформації – це стає ефективним додатковим методом закріплення знань. По-третє, що було особливо помітно під час занять з No-Code застосунками, – це групова активність. Студент може долучитися до редизайну чи доопрацювання застосунку навіть поза аудиторією, а ігрові елементи створюють здорову конкуренцію та азарт, що напряму підвищує мотивацію до навчання. Як підтверджують Н. О. Арістова та І. А. Махович, застосування гейміфікації у підготовці студентів сприяє підвищенню мотивації навчання, ретельному плануванню освітньої діяльності, а також ефективному розвитку особистісних і професійно орієнтованих навичок [1]. Варто додати: коли студент стає частиною команди в грі, його мотивація вивчити матеріал, щоб підтримати команду, суттєво зростає. Спільні емоції та події об’єднують студентів, формують колективний мотиваційний настрій на фоні азарту та відчуття важливості кожного члена команди.

Практичне підтвердження цих спостережень отримано під час онлайн-заняття з дисципліни «Вища математика» на тему «Комбінаційні схеми та релейно-контактні схеми», проведеного в ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» для студентів першого курсу спеціальностей «Комп’ютерна

інженерія», «Комп'ютерні науки» та «Інженерія програмного забезпечення». На занятті було протестовано два навчальні застосунки, створені за допомогою Google AI Studio. Перший – проекція викладача в середовище ШІ – розроблений на основі детального опису алгоритму роботи та уявлення візуального інтерфейсу: він дозволяв будувати комбінаційні схеми вручну й автоматично, генерував LaTeX-код блок-схем та містив теоретично-візуальний приклад. Яскравий дизайн та інтерактивність сприяли зацікавленості студентів. Другий застосунок – проекція навчального матеріалу через аналіз ШІ – створений на основі завантажених лекційних матеріалів; він мав стриманий класичний вигляд і був орієнтований на точне відтворення схем для самостійної роботи. Важливо, що жоден із застосунків не був створений без помилок з першої спроби – обидва потребували уточнень і налаштувань, що підтверджує: ШІ є інструментом, а не автономним суб'єктом навчання, і викладач повинен володіти цифровими навичками для його коректного застосування.

Опитування студентів до та після заняття показало значні позитивні зміни. До заняття 71% студентів не мали досвіду роботи з програмами моделювання логічних схем, водночас 86% виявили високий інтерес до теми, а жоден студент не обрав варіант «не цікаво». Щодо очікувань: 71% прагнули отримати нові знання, 29% – навчитися працювати з інструментом. Після заняття результати засвідчили ефективність обраного підходу: 71% студентів повністю зрозуміли тему, 71% зазначили, що ШІ значно допоміг у поясненні матеріалу, і 71% були дуже мотивовані до подальшого навчання. Показово, що жоден студент не обрав варіанти «не допомогло» чи «не мотивований». Найбільш цінними аспектами застосунків студенти назвали можливість експериментувати (71%) та візуалізацію схем (29%) – що підтверджує: інтерактивність і наочність є ключовими чинниками залучення студентів до навчального процесу.

Таким чином, No-Code інструменти на основі ШІ є ефективним засобом підвищення навчальної мотивації студентів. Практика показує, що вони не лише

полегшують сприйняття складного матеріалу, а й формують нове освітнє середовище – інтерактивне, командне, творче. Також важливо наголосити, що долучення студентів до процесу створення застосунків у межах освітнього процесу розвиває їхню творчу сторону – а це в реаліях сучасного світу є шляхом не просто ефективного, а й вмотивованого та якісного навчання. Сучасні технології, незалежно від стандартів, неминуче проникають у життя кожного учасника освітнього процесу. Мотивація, натхнення, полегшення роботи викладача та задання нових векторів до високих результатів через No-Code створення застосунків мають очевидні перспективи. Вираження творчості в будь-якій науці неможливе без знання теоретичної бази, тому розвиток творчого проявлення обов'язково дасть мотивації і для вивчання теоретичної частини.

Новітні технології дають можливість втілити власні ідеї і відкрити студентам нові горизонти пізнання, але важливий підхід до роботи з ними, тому це питання актуальне для подальшого його вивчення.

Список використаних джерел

1. Арістова Н. О., Махович І. А. Гейміфікація як засіб підвищення мотивації навчання студентів комп'ютерних спеціальностей. *Світ дидактики: дидактика в сучасному світі*. 2023.
2. Докучина Т. О. Мотивація навчання як запорука стимулювання учнів до досягнення успіху. *Педагогічна освіта: теорія і практика*. 2011. № 8. С. 32–37.
3. Дробот О. В. Мотивація студентів до дистанційного навчання в умовах пандемії. *Психологія та соціальна робота*. 2020. № 1 (51). С. 69–85.
4. Коваленко Н. П., Боброва Н. О., Ганчо О. В., Зачепило С. В. Мотивація студентів як запорука успішного професійного розвитку. *Медична освіта*. 2020. № 3. С. 43–48.
5. Лещенко Т. О., Шевченко О. М. Мотивація навчальної діяльності здобувачів вищої освіти як провідний чинник підготовки фахівців. *Trends in the development of science in the modern world*. 2022. С. 247–251.
6. Сікорський П., Красильніков Н. Формування мотивації студентів до навчання у закладах професійної освіти під час дистанційного навчання. *Вища освіта України*. 2024. № 1. С. 178–184.

УДК 37.016

Вікторія Коротка**,** здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти,
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна
Геннадій Циммерман**,** старший викладач кафедри комп'ютерних наук,
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна
Олена Циммерман**,** учитель інформатики,
Запорізька гімназія №62, м. Запоріжжя, Україна

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ НА УРОКАХ ІНФОРМАТИКИ

Анотація. У статті розглянуто питання використання робототехніки на уроках інформатики в закладах загальної середньої освіти. Показано можливості інтеграції робототехніки зі STEM-освітою та її роль у формуванні навичок програмування, алгоритмізації, конструювання й критичного мислення учнів. Окреслено етапи застосування роботів у школі, наведено приклади ідей для проєктів, що підвищують мотивацію та якість навчання. Зроблено висновок про позитивний вплив робототехніки на освітній процес та перспективи її використання для підготовки учнів до майбутніх технологічних професій.

Ключові слова: робототехніка, інформатика, STEM-освіта, алгоритмізація, програмування.

Abstract. The article examines the methods of using robotics in computer science lessons in secondary education institutions. The possibilities of integrating robotics with STEM education and its role in the formation of students' programming, algorithmization, design and critical thinking skills are shown. The stages of using robots in school are outlined, examples of ideas for projects that increase motivation and the quality of learning are given. The conclusion is made about the positive impact of robotics on the educational process and the prospects for its use to prepare students for future technological professions.

Keywords: robotics, computer science, STEM education, algorithmization, programming.

У сучасному світі робототехніка набула широкого визнання – роботи використовуються на підприємствах, в будівництві, медицині, освіті та ін. Їх завдання - зменшити навантаження на працівників, створювати комфортні умови

для життя. На сьогоднішній день робототехніка у закладах освіти реалізована, як окремий навчальний предмет, компонент STEM-освіти чи гурток. За навчальною програмою з інформатики у 10-11 класах пропонується багато навчальних модулів, які добре поєднуються з використанням робототехніки: учні виходять на рівень розуміння способів керування робототехнічною системою, розвивають знання та навички з програмування, конструювання, механіки, електроніки, проєктування і це дає їм можливість спробувати себе у різних напрямках, як то інженерія чи програмування, зацікавитися питанням вибору професії [1].

За спостереженнями учителів-практиків використання робототехніки на уроках покращує вивчення матеріалу та підвищує мотивацію учнів до навчання. Завдяки інтерактивності і практичності робототехніки учні можуть бачити результати застосування отриманих знань на практиці [2]. Наразі у навчальних закладах робототехніка найбільше використовується у поєднанні зі STEM-освітою (від англ. – Science, Technology, Engineering, Mathematics), коли в межах однієї дисципліни реалізується інтеграція з іншими, з акцентом на практичне застосування [3]: математика формує просторові поняття, забезпечує розрахунок руху роботів; фізика допомагає розуміти принципи роботи датчиків і механізмів; інженерні технології та дизайн використовуються для конструювання окремих пристроїв та цілих блоків робота; інформатика забезпечує підготовку з алгоритмізації та програмування, необхідну для керування роботом.

На поточний момент існує велика кількість роботів та конструкторів які можна використати в освітньому процесі. Їх можна розділити на групи відповідно етапів використання: початкова, середня і старша школи.

На етапі початкової школи учні знайомляться з поняттями: робот, робототехніка, механізми. Навчання починається з роботів без програмування, які керуються блоками чи символами, наприклад BeeBots. Далі можна використати конструктори LEGO Education (функціональні набори, які на простому рівні навчають учнів роботі з механізмами) (рис. 1).

Рис. 1. Робот BeeBots та конструктор LEGO Education

Також цікаву можливість для навчання дає використання роботів Cubelets, Dash&Dot, Little Bits STEAM та Skribot, яких можна програмувати. Це сприяє усвідомленню знань, розвитку творчості, формує досвід роботи в групі (рис. 2).

Рис. 2. Роботи з середовищем для їх програмування

Етап середньої школи збагачує учнів знанням простих інструментів програмування таких як Scratch та Python. Для цього етапу підійдуть роботи, які не просто виконують базові команди, широко використовується мова програмування для формування завдань для робота. На цьому етапі доречними будуть конструктори LEGO Education, але вже іншого складнішого виду, які допоможуть вивчати робототехніку за принципами фізики та інженерії, що застосовуються при конструюванні робота. Для продовження навчання підійдуть роботи Robotis STEM, Photon, Makeblock, Tetrix Prime і Tetrix Max, які мають нескладну будову та середовище для програмування. Завдяки цим роботам учні навчаються критичному мисленню, знаходженню різних способів для вирішення проблем чи удосконалення своєї роботи [4] (рис. 3).

Рис. 3. Роботи для етапу середньої школи

Для етапу старшої школи робототехніка стає складовою профільного навчання - учні програмують роботів, поєднуючи при цьому програмування за допомогою блоків та коду, що робить програмування складнішим, ближчим до інженерії. Для цього доречно використати LEGO Mindstorms (рис. 4). Для більшої глибини практичного застосування знань учні можуть програмувати плати Arduino на мові C/C++ та використовувати платформу BBC Micro:bit. Учні навчаються працювати з датчиками, модулями, автоматизовувати процес роботи пристроїв. Доречним для старшої школи буде робот VEX Robotics - можна вивчати програмування, створювати алгоритми керування датчиками та рухом робота (існують навіть змагання з робототехніки на VEX Robotics) (рис. 4).

Рис. 4. Робот LEGO Mindstorms та робот VEX Robotics

Навчальні заклади можуть обирати різні варіанти роботів відповідно до фінансових можливостей та до віку учнів.

Розглянемо на прикладі етапи процедури використання робота mBot при вивченні теми «Алгоритми з розгалуженням та циклами» в старшій школі.

Етап 1. Ознайомлення з роботом та інтерфейсом середовища програмування. Учні розглядають будову робота, його складові, встановлюють середовище mBlock знайомляться з його інтерфейсом та мовою програмування.

Етап 2. Планування поведінки робота. Учні планують алгоритм дій робота, враховуючи, що руху можуть заважати перешкоди.

Етап 3. Програмування робота. Учні визначившись зі своїм завданням починають програмувати робота використовуючи блоки команд та перевіряють результат у симуляторі mBot.

Етап 4. Тестування та перевірки. Діти перевіряють, як працює запрограмований робот та вносять зміни в алгоритм (за потреби).

Етап 5. Рефлексія та обговорення. Учні озвучують свої досягнення та проблеми, які виникли при виконанні завдання. Вчитель робить висновок щодо використання mBot (рис. 6).

Таким чином учень проходь шлях від першої робочої версії ідеї-прототипу – до повного циклу розробки програмного забезпечення. Це дозволяє провести аналіз досвіду використання робототехніки на уроці, щоб подивитись на скільки змінюється рівень освітньої підготовки.

Рис. 6. Робот mBot

Відповідно до програми вивчення інформатики 10-11 класів профільного рівня, вибравши для використання декілька її модулів, можна проаналізувати інтеграцію робототехніки при вивчення цього матеріалу.

Наприклад, при вивченні модуля «Мова програмування та структури даних» учні навчаються розв’язувати задачі та налагоджувати програми використовуючи

цикли, масиви, списки, параметри. Навчитися цього можна також шляхом цільового використання роботів LEGO Mindstorms або mBot, які учні повинні правильно запрограмувати.

У модулі «Аналіз і візуалізація даних» учні вивчають як обчислюються статистичні характеристики вибірки та застосовують засоби візуалізації даних. Тут корисними можуть стати Ozobot, Arduino, Micro:bit – вони оснащені датчиками, які можуть збирати дані про кольори, температуру, освітлення, відстань, що надасть процесу аналізу та візуалізації даних практичності (рис. 7).

Рис. 7. Інструменти робототехніки для візуалізації даних

При вивченні модуля «Алгоритми» учні розбираються зі структурою алгоритму та реалізують її засобами мови програмування. Тут доречно застосувати роботів LEGO Mindstorms, mBot, Ozobot, завдяки яким учні можуть побачити процес і результат виконання алгоритму. Програмуючи робота учні навчаються правильній послідовності дій для створення руху робота та уникання перешкод. Це допомагає зрозуміти сутність алгоритмізації, декомпозиції, навчитися використовувати базові алгоритмічні конструкції на практиці, розвинути критичне та логічне мислення в учнів [5].

Наведемо декілька прикладів ідей використання робототехніки у профільній школі. 1) На уроці інформатики можливо ефективно об’єднувати навчальні практичні завдання в командні (групові) проєкти, наприклад програмування робота

для проходження лабіринту. Учні поділяються на групи. Одна група має створити лабіринт, тоді як інша група має розробити алгоритм, по якому робот пройде цей лабіринт без помилок, використовуючи датчики дотику чи відстані. Після проходження завдання учні можуть обмінюватися лабіринтами, змінювати чи покращувати алгоритм роботи робота. Цей проєкт допомагає учням на практиці застосовувати алгоритми різної складності, змінні та сенсори. Презентуючи свої роботи учні також пояснюють свої рішення та аналізують помилки, що сприяє розвитку критичного мислення та вдосконалює вміння працювати у групі. 2) Використати робототехніку у профільній школі можна також через інтеграцію з творчими проєктами. Учням пропонується створити квест з використанням анімації та робототехніки, поєднавши все в одному проєкті. Учні діляться на групи та розробляють сюжет гри, де головний герой - робот. Наприклад, по сюжету робот виступає героєм, який має подолати перешкоди та дістатися до визначеного пункту аби врятувати людей, виконуючи послідовні дії: знайти потрібний ключ за допомогою датчиків кольору, пройти перешкоди використавши датчики дотику, і стати на кінцевій точці на правильному звуковому сигналі. У підсумку, учні презентують свої роботи, а разом з ними – знання з алгоритмізації та програмування, комунікаційні навички.

Отже, можна зробити висновок, що використання робототехніки при вивченні інформатики очевидно має позитивний ефект. Завдяки об’єднанню програмування, алгоритмізації, візуалізації та проєктної діяльності учні демонструють отримані знання на практиці, що мотивує учнів до навчання, сприяє формуванню критичного та логічного мислення, вдосконаленню навичок програмування, групової комунікації, свідомому вибору майбутньої сфери професійної діяльності. На сьогоднішній день вчителі, які мають досвід в цій галузі, все частіше організують гуртки робототехніки, які із задоволенням відвідують учні. Тому буде доцільним у програму підготовки учителя інформатики в ЗВО включити окремий спецкурс вивчення основ робототехніки.

Список використаних джерел

1. Глазова В., Сурков М. Використання робототехніки під час уроків інформатики: інформатика та методика її навчання. *Збірник наукових праць фізико-математичного факультету ДДПУ*. 2022. Т. 12. С. 65–69. https://doi.org/10.31865/2413-26672415-3079122022261522
2. Bellas F., Sousa A. Editorial: Computational intelligence advances in educational robotics. *Frontiers in Robotics and AI*. 2023. V. 10. https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1150409
3. Morze N., Strutynska O., Umryk M. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку stem-освіти. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. V. 5. P. 178–187. https://doi.org/10.28925/2414-0325.2018.5.178187
4. Morze N., Ghladun M., Dziuba S. Formation of key and subject competences of students by robotic means of STEM-education. *Informacijni tekhnologhiji i zasoby navchannja.* 2018. T. 65, № 3. P
5. Навчальні програми для 10-11 класів [Електронний ресурс]. URL : https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv (дата звернення 08.05.2026)

УДК 371.388.6

Олександра Правда**,** здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
Запорізький національний університет,
м. Запоріжжя, Україна
Геннадій Циммерман**,** старший викладач,
Запорізький національний університет,
м. Запоріжжя, Україна

ІННОВАЦІЙНІ ФОРМАТИ НАВЧАННЯ ІНФОРМАТИКИ: ВІД ЕПІЗОДІВ ДО СИСТЕМНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. У статті розглядається проблема впровадження інноваційних форматів навчання інформатики в закладах загальної середньої освіти. Проаналізовано сутність та дидактичний потенціал гейміфікації. Визначено роль та місце таких інструментів, як вебквести, челенджі, квізи та воркшопи на різних етапах уроку інформатики. На основі аналізу педагогічного досвіду запропоновано модель інтеграції цих форматів: від оперативного контролю знань та самостійного пошуку інформації до інтенсивного відпрацювання практичних навичок та створення ІТ-продукту. Наголошується на необхідності системного підходу, що дозволяє збалансувати ігровий та змістовний аспекти навчання.

Ключові слова: гейміфікація, навчання інформатики, вебквест, квіз, челендж, воркшоп, інтерактивні методи, освітня екосистема.

Abstract: The article considers the problem of implementing innovative formats for teaching computer science in secondary education institutions. The essence and didactic potential of gamification are analyzed. The role and place of such tools as webquests, challenges, quizzes and workshops at different stages of a computer science lesson are determined. Based on the analysis of pedagogical experience, a model for integrating these formats is proposed: from operational control of knowledge and independent search for information to intensive development of practical skills and creation of an IT product. The need for a systematic approach is emphasized, which allows balancing the game and content aspects of learning.

Keywords: gamification, informatics teaching, webquest, quiz, challenge, workshop, interactive methods, educational ecosystem.

Методи навчання інформатики, що базуються на репродуктивному відтворенні готових інструкцій, поступово втрачають свою актуальність, бо вже не забезпечують достатнього рівня мотивації в учнів, не відповідають потребам

сучасного суспільства. У зв'язку з цим усе більшої популярності набуває впровадження інтерактивних форм навчання (реалізованих або на рівні «людина-людина», або на рівні «людина-інформаційна система»), зосереджених на створення учнем певного продукту (алгоритм, програма, документ, таблиця, сайт, презентація та ін) під час спеціально організованого педагогом на занятті процесу навчального дослідження. Основним завданням таких нововведень є не тільки втримати увагу учнів та підвищити рівень їх мотивації, а й розвивати самостійність, критичне мислення та здатність працювати з інформацією, взаємодіяти в команді. У цьому контексті актуальними стають такі інструменти гейміфікації, як вебквести, челенджі, воркшопи та квізи. Оскільки сучасна освіта орієнтована на вміння самостійно здобувати знання та застосовувати їх на практиці, саме тому вивчення зазначених інструментів навчання є одним із пріоритетних завдань сучасної педагогіки.

Проблема використання інноваційних технологій у навчанні інформатики активно досліджується українськими та закордонними науковцями, що підтверджує широкий інтерес до цієї тематики. Нові форми організації навчання потребують уважного вивчення. Ключовим поняттям, що об'єднує ці формати, є **гейміфікація** - її стратегічна ідея не перетворення уроку на гру, а лише запозичення ігрової механіки (змагальність, швидкий зворотній зв'язок, спостереження за прогресом у реальному часі) для досягнення дидактичних цілей. Одним із найбільш комплексних інструментів такої стратегії є **вебквест** – проблемне завдання з елементами рольової гри, для виконання якого використовуються інформаційні ресурси мережі Інтернет. Спорідненим до нього є **челендж**, який у педагогіці виступає як короткострокова або тривала інтенсивна активність, спрямована на досягнення конкретної мети через подолання серії перешкод (вебквест фокусується на дослідженні, а челендж – на системності та дисципліні виконання завдань). У свою чергу **квіз** – це інтерактивна онлайн-вікторина, яка дозволяє у реальному часі зрозуміти рівень засвоєння матеріалу в багатьох учнів одночасно через елементи

змагання. Для практичного відпрацювання навичок найкраще підійде **воркшоп** – колективний навчальний захід, де акцент зміщується з теоретичного інформування на активну групову роботу та взаємонавчання учасників. Зауважимо, що воркшоп сам по собі не є класичним інструментом гейміфікації, проте він розглядається у цьому дослідженні як невід'ємна частина цілісної методики. По-перше, він створює сприятливе середовище для реалізації ігрових викликів (челенджів) та квестів у режимі реального часу. По-друге, саме цей формат забезпечує практичне підґрунтя для ігрових активностей, перетворюючи розважальний аспект на процес створення реального ІТ-продукту. Тобто, воркшоп виступає платформою, яка інтегрує ігрові елементи у змістовне навчальне заняття. У сукупності вказані інструменти формують освітню екосистему, де гейміфікація забезпечує середовище високої зацікавленості учнів, а цифрові сервіси дозволяють учителю здійснювати персоніфікований контроль, що дозволяє відстежувати прогрес кожного учня в реальному часі та своєчасно корегувати його освітню траєкторію.

Зазначена проблема активно вивчається та обговорюється практиками. Так у статті «Формування мотивації учнів старшої школи до вивчення інформатики із застосуванням технології Web-квест» Д. С. Вербівський та О. Ю. Усата дослідили процеси мотивації здобувачів освіти та з'ясували - саме проблемний характер завдань у поєднанні з рольовим розподілом усередині групи дозволяє структурувати самостійну роботу школяра як цілісне дослідження [1]. У роботі «Використання педагогічної технології веб-квесту при вивченні учнями адаптаційного курсу інформатики: науково-методичний аналіз» автором О. Гончаренко здійснено огляд такого дидактичного підходу як синтезу методу проєктів та ігрового навчання [3]. Автор підкреслив, що алгоритм вебквесту безпосередньо сприяє розвитку аналітичного мислення, оскільки вимагає від учня трансформації знайденої в мережі інформації у власні логічні висновки.

Значна увага цим питанням також відведена у збірнику матеріалів вебконференції «Використання квест-технологій для активізації пізнавальної

діяльності учнів». Зокрема Г. М. Іваненко у роботі «Використання квестів як засобу активізації пізнавальної діяльності учнів» підкреслює, що квест-технології базуються на ігровому сюжеті та змагальності, що є ключовим фактором підвищення інтересу до навчання. У роботі Н. В. Нечипоренко «Використання квест-технологій на уроках інформатики» наголошується на необхідності впровадження нових форм навчання, які мають забезпечити розвиток творчого мислення та самостійності школярів [2].

У статті Я. Іщенка та М. А. Семенова «Гейміфікація як педагогічний інструмент у підготовці майбутніх учителів інформатики: теоретичне підґрунтя та компетентнісний фреймворк» [4] дослідники зосередилися на питаннях підготовки вчителів, як сценаристів-архітекторів ігрових систем. А робота К. О. Нехаєнко «Гейміфікація як інструмент мотивації учнів на уроках інформатики» описує практичні аспекти використання інтерактивних квізів [5]. Авторка експериментально підтвердила, що ігрові вставки з використанням сервісів Kahoot! та Quizizz значно знижують рівень тривожності школярів, сприяють формуванню здорової конкуренції під час проведення квізу.

Узагальнюючи цей досвід, можна вважати, що науковці розробили описово-практичну базу вказаних інструментів. Однак практичне впровадження інноваційних форм супроводжується низкою питань методичного характеру. Основна невирішена проблема полягає у відсутності достатньої уваги до сучасних навчальних технологій саме в контексті їх комплексного та системного використання в освітньому процесі. Відсутній механізм інтеграції цих короткострокових ігрових активностей у систему оцінювання та календарно-тематичне планування. Часте явище при використанні квізів або вебквестів - перевага ігрового аспекта, а не змістового наповнення. Таким чином, існує потреба у створенні цілісної методики, де челенджі, вебквести, квізи та воркшопи стануть не додатковими елементами, що слугують для полегшення навантаження учнів, а дієвим інструментом якісного навчання.

Наразі практичний досвід використання інноваційних технологій вже демонструє свою ефективність у навчанні, зокрема інформатики, про що можна впевнитися з аналізу досвіду колег у наведених вище роботах та з власної педагогічної практики. У збірнику матеріалів вебконференції «Використання квест-технологій для активізації пізнавальної діяльності учнів» описано проєкт «Міжпланетна подорож» [2]. Хоч автори класифікують його як вебквест, структура свідчить про те, що його також можна віднести до челенджів. Це підтверджує, що вчителі-практики вже у 2016 році намагалися впроваджувати систему регулярних онлайн-завдань для підтримки тривалої мотивації учнів (проєкт побудований за технологією Google Sites і передбачає п’ятиденний марафон із щоденним розблокуванням нових логічних завдань та ребусів). Проте характер реалізації проєкту підтверджує брак методичних рекомендацій щодо впровадження таких інновацій в освітній процес, оскільки він виступає у ролі додаткової домашньої роботи або позакласної діяльності, а не частини уроку, і помітною є неможливість повної інтеграції в урок через його обмежений час.

Наш власний досвід впровадження інтерактивних квізів на платформі Kahoot! підтвердив, що гейміфікація уроку наразі є важливою, дозволяє отримати зворотний зв’язок від школярів, що особливо актуально під час навчання онлайн. Використання таких інструментів дозволило зробити учнів більш активними та зацікавленими протягом заняття. Саме цей досвід підкреслює актуальність потреби у створенні цілісної методики, де челенджі, вебквести, квізи та воркшопи стануть органічно вбудованими в освітній процес дієвими інструментами якісного навчання. Експериментальне використання воркшопів показало, що заміна бесіди на практичне заняття дозволяє зекономити час, інтегруючи пояснення нового матеріалу безпосередньо у процес створення ІТ-продукту. Проте проблема обмеження часу уроку, необхідність розробки коротких, але змістовних мікроквестів, які б не відволікали від основної мети заняття, потребує подальшого опрацювання. Нами було перевірено на практиці, що більш ефективно працюють

квізи на етапі первинного закріплення нових знань, тобто наприкінці уроку після вивчення нової теми. Окрім емоційного підкріплення через змагальність, такий формат значно покращує механізм запам'ятовування. Принцип негайного відображення правильної відповіді після кожного запитання дозволяє учню моментально коригувати власне розуміння та фіксувати правильну інформацію в пам'яті, що є набагато дієвішим за традиційну перевірку тестами з відтермінованим аналізом помилок.

Для етапу засвоєння нового матеріалу доречно використовувати вебквести. Це інструмент для самостійної дослідницької діяльності. Учень або мікрогрупа отримує план для пошуку та аналізу інформації з конкретної теми, а результатом стають власні висновки та презентація знайденого рішення. Це перетворює учня з пасивного споживача контенту на активного дослідника.

Челендж ми бачимо як серію ускладнених практичних вправ. Наприклад, під час вивчення кодингу, коли базові конструкції вже опановані, учням пропонується цикл завдань, що потребують критичного мислення: змінити існуючу логіку програми, оптимізувати послідовність дій або знайти помилку в чужому коді. Це розвиває стійкість перед труднощами, системність мислення, оскільки кожне наступне завдання базується на успіху в попередньому.

Для етапу узагальнення та систематизації знань оптимальним є формат воркшопу. Його доцільно використовувати для тривалих проєктів, як-от створення спільного вебсайту класу. Тут кожен учень працює над персональною сторінкою, але процес вимагає постійної групової взаємодії: узгодження спільного дизайну, навігації та загальної структури. У такому форматі воркшоп стає містком між індивідуальними навичками та командною роботою, що максимально наближує до реальних умов ІТ-індустрії.

Ми наголошуємо на тому, що ці інструменти не мають використовуватися, як випадкові елементи уроку. Насправді ефективним навчання стає лише за умови доцільного використання кожного з форматів: квіз – для швидкого контролю та

засвоєння теоретичних знань, вебквест – для стимулювання самостійної пошукової діяльності, челендж – для інтенсивного відпрацювання практичних навичок, а воркшоп – для фінальної інтеграції знань у реальний продукт та розвитку навичок командної взаємодії. Такий розподіл дозволяє уникнути перевантаження ігровим аспектом, тримає фокус на змісті предмета.

Проведене дослідження підтверджує - база інструментів гейміфікації навчання в Україні створена, але вона фрагментарна, через недостатню увагу до системного поєднання челенджів, вебквестів, квізів та воркшопів не використовується повний потенціал цих форматів. Впровадження елементів гейміфікації не повинно бути самоціллю або способом розваги школярів, воно має стати фундаментом для нової дидактичної моделі, яка враховує дефіцит часу та пріоритетність практичної підготовки учнів. У перспективі подальші розробки на цю тему мають бути спрямовані на створення методичних рекомендацій з органічного інтегрування гейміфікованих інструментів у структуру уроку. Лише за умови комплексного підходу та розробки інструментів, що заощаджують час педагога, інноваційні форми та методи навчання зможуть перетворитися з цікавих експериментів на надійну опору якісної сучасної освіти.

Список використаних джерел

1. Вербівський Д. С., Усата О. Ю., Карплюк С. О., Бенедисюк М. М. Формування мотивації учнів старшої школи до вивчення інформатики із застосуванням технології Web-квест. 2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.14607837
2. Кошель О. В., Бондаренко А. В., Кірієнко І. В., Юцкевич З. Г., Животова О. М., Іваненко Г. М., Нечипоренко Н. В., Літвинська К. С., Носаченко І. М., Юрченко Т. Є. Використання квест-технологій для активізації пізнавальної діяльності учнів. *Збірник матеріалів обласної веб-конференції*. 2016. URL : https://matematuka.at.ua/MO/zbirnik_vikoristannja_kvest-1-1.pdf#page=13 (дата звернення 08.05.2026)
3. Гончаренко О. Використання педагогічної технології веб-квесту при вивченні учнями адаптаційного курсу інформатики: науково-методичний аналіз. 2023. https://doi.org/10.58407/visnik.232402

4. Іщенко Я. С., Семенов М. А. Гейміфікація як педагогічний інструмент у підготовці майбутніх учителів інформатики: теоретичне підґрунтя та компетентнісний фреймворк. 2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.18527615
5. Нехаєнко К. О. Гейміфікація як інструмент мотивації учнів на уроках інформатики. 2024. URL : https://eprints.zu.edu.ua/42005/1/1212.pdf (дата звернення 08.05.2026)

УДК 370 +378+51

Тарас Ткач, здобувач вищої освіти,
Ніна Падалко, кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри теорії функцій та
методики навчання математики,
Волинський національного університету
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ОСВІТНІХ ВТРАТ З МАТЕМАТИКИ

Анотація Обґрунтовано необхідність застосування інформаційно-комунікаційних технологій як ефективного засобу ліквідації освітніх втрат з математики, що виникли внаслідок дистанційного навчання. Розглянуто прикладну методичну модель, яка поєднує індивідуальну цифрову діагностику, технологію мікронавчання та засоби динамічної візуалізації. Наведено конкретні приклади інтеграції платформ Google Forms, LearningApps та Desmos в освітній процес.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, освітні втрати, школа, учні, дистанційне навчання.

Abstract The abstracts substantiate the need to use information and communication technologies as an effective means of eliminating educational losses in mathematics caused by distance learning. An applied methodological model combining individual digital diagnostics, microlearning technology, and dynamic visualization tools is considered. Specific examples of integrating Google Forms, LearningApps, and Desmos platforms into the educational process are provided.

Keywords: information and communication technologies, educational losses, school, students, e-learning.

Сьогодні українська система освіти стикається з безпрецедентними викликами, зумовленими тривалим дистанційним навчанням під час пандемії та наслідками воєнного стану. Це призвело до виникнення значних освітніх втрат, що є особливо критичним для таких складних і послідовних дисциплін, як математика. Оскільки вивчення математики має суворо кумулятивний характер, нерозуміння навіть однієї базової теми унеможливлює засвоєння всього подальшого курсу. Традиційні методи трансляції знань часто виявляються недостатньо гнучкими для швидкого надолуження матеріалу. Тому використання інформаційно-

комунікаційних технологій (ІКТ) як інноваційного засобу діагностики та ліквідації освітніх втрат набуває особливої актуальності.

Впровадження ІКТ дозволяє комплексно реалізовувати навчальну, розвивальну та контролюючу функції, створюючи адаптивне освітнє середовище. Це забезпечує індивідуалізацію навчальної траєкторії та швидке точкове закриття прогалин у знаннях різних учнів. Розглянемо приклад застосування інноваційних платформ на різних етапах ліквідації освітніх втрат.

Першим і найважливішим кроком є персоналізована цифрова діагностика, оскільки групові форми тестування часто маскують індивідуальні прогалини.

Приклад 1: Під час підготовки до вивчення теми «Арифметичний квадратний корінь» (8 клас) доцільно використати сервіс Google Forms із функцією розгалужених сценаріїв. Учням пропонується стартове завдання на обчислення виразу: $\sqrt{16} + \sqrt{9}$. Якщо здобувач освіти вводить правильну відповідь 7, система автоматично переводить його до складнішого блоку. Якщо ж учень обирає типову хибну відповідь 5, форма автоматично перенаправляє його до коригувального блоку з коротким нагадуванням властивостей кореня та простішими завданнями. Такий підхід забезпечує глибоку диференціацію та автоматизує процес побудови індивідуальної освітньої траєкторії.

Наступним етапом є практичне надолуження знань на основі технології мікронавчання та гейміфікації.

Приклад 2: На етапі відпрацювання базових алгебраїчних навичок ефективним є залучення платформи LearningApps. Під час вивчення формул скороченого множення педагог конструює інтерактивну вправу за шаблоном «Розподіл на групи». Учням необхідно класифікувати вирази, наприклад $a^2 - b^2$, $(x - y)^2$, $4m^2 - 9n^2$ у відповідні категорії: «Різниця квадратів» та «Квадрат різниці». Завдяки вбудованому алгоритму миттєвої перевірки здобувач освіти має змогу самостійно виявити та виправити помилку за допомогою кольорової

індикації. Це формує безпечне освітнє середовище без ризику отримати негативну оцінку в журнал і знімає психологічну напругу.

Окремою проблемою точних дисциплін є подолання бар'єра абстрактності, що вимагає застосування засобів динамічної візуалізації.

Приклад 3: Під час вивчення теми «Функції та їхні властивості» для подолання труднощів у розумінні геометричних перетворень доцільно застосувати графічний калькулятор Desmos. Замість механічного заучування правил, учням пропонується готова динамічна модель квадратичної функції $y = a(x - m)^2 + n$. Змінюючи значення параметрів a, m та n за допомогою інтерактивних повзунків, школярі емпіричним шляхом з'ясовують вплив кожного коефіцієнта на напрям гілок, а також на горизонтальний та вертикальний зсув параболи. Це дозволяє на інтуїтивному рівні осягнути логіку перетворень, трансформуючи абстрактні правила у зрозумілі візуальні образи.

Впровадження інноваційних ІКТ є одним із найбільш дієвих способів ліквідації освітніх втрат з математики в умовах сучасних криз. Застосування таких платформ, як Google Forms, LearningApps та Desmos, дозволяє не лише забезпечити точкову діагностику і миттєвий зворотний зв'язок, але й значно знизити математичну тривожність, відновлюючи пізнавальну активність учнів. Інтеграція цих інструментів створює адаптивне освітнє середовище, орієнтоване на глибоке розуміння та практичне застосування математичних знань.

Список використаних джерел

1. Падалко Н. Й., Падалко А. М. Особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні дисциплін математичного циклу. *Математика, інформаційні технології*. Луцьк. 2020. С. 52-60.

УДК 370 +378+51

Софія Мороз, здобувачка вищої освіти,
Ніна Падалко, кандидат педагогічних наук, доцент,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕМАТИКИ У 5–6 КЛАСАХ

Анотація. У роботі розглянуто можливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій на уроках математики у середній школі. Доведено, що використання цифрових інструментів сприяє підвищенню мотивації учнів, покращенню засвоєння навчального матеріалу та розвитку математичної компетентності.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, математика, LearningApps, GeoGebra.

Abstract. The paper considers the possibilities of applying information and communication technologies in mathematics lessons in middle school. It is proved that the use of digital tools increases students' motivation, improves learning outcomes, and contributes to the development of mathematical competence.

Keywords: information and communication technologies, mathematics, LearningApps, GeoGebra.

У сучасних умовах цифровізації освіти інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) відіграють важливу роль у підвищенні ефективності навчального процесу. Особливо актуальним є використання ІКТ під час вивчення математики у 5–6 класах, коли закладаються основи математичних знань, формуються навички логічного мислення та розвивається пізнавальний інтерес учнів.

Метою даного дослідження є обґрунтування доцільності використання інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні математики у 5–6 класах.

Використання ІКТ у навчанні математики дає змогу:

• візуалізувати математичні поняття та процеси;

• організувати інтерактивну взаємодію учнів із навчальним матеріалом;

• забезпечити миттєвий зворотний зв'язок;

• реалізувати диференційований підхід;

• підвищити мотивацію до навчання.

Одним із найпоширеніших сервісів для створення інтерактивних завдань є LearningApps – це безкоштовний онлайн-ресурс, який дозволяє створювати вправи типу «Знайди пару», «Класифікація», «Заповни пропуски», «Вікторина» та інші.

Одним із найефективніших ресурсів для використання на уроках математики у 5–6 класах є GeoGebra. Це безкоштовне програмне забезпечення, яке поєднує можливості геометрії, алгебри, таблиць, графіків та математичного моделювання. Програма доступна як у вигляді веб-версії, так і у формі мобільного застосунку та програми для комп’ютера.

GeoGebra надає вчителю широкі можливості для створення інтерактивних моделей, які дозволяють учням досліджувати математичні об’єкти та закономірності. У 5–6 класах цей ресурс доцільно використовувати під час вивчення тем «Натуральні числа», «Дроби», «Координатна площина», «Геометричні фігури», «Кути», «Периметр і площа».

Наприклад, під час вивчення теми «Коло і круг» у 6 класі вчитель може створити динамічну модель, у якій учні змінюють радіус круга та спостерігають, як змінюються його площа і довжина кола. Це допомагає краще зрозуміти залежність між величинами та закріпити відповідні формули.

GeoGebra також містить велику бібліотеку готових навчальних матеріалів, створених педагогами з усього світу. Учитель може використовувати вже готові моделі або адаптувати їх відповідно до теми уроку та рівня підготовки учнів.

Використання GeoGebra на уроках математики у 5–6 класах сприяє підвищенню мотивації учнів, покращенню розуміння навчального матеріалу та формуванню практичних навичок застосування математичних знань.

Висновки. Використання інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні математики у 5–6 класах сприяє підвищенню якості знань, розвитку

математичного мислення та формуванню стійкого інтересу до предмета. Цифрові інструменти роблять навчання більш наочним, доступним та захопливим для учнів.

Список використаних джерел

1. Падалко Н. Й. Методика навчання математики : метод. посіб. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2021. 143 с.
2. Істер О. С. Математика : підруч. для 5-го кл. закл. заг. серед. освіти. Київ : Генеза, 2022.
3. Істер О. С. Математика : підруч. для 6-го кл. закл. заг. серед. освіти. Київ : Генеза, 2023.
4. Падалко Н. Й., Падалко А. М. Особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні дисциплін математичного циклу. *Математика, інформаційні технології*. 2020. С. 52-60

УДК 370 +378+51

Анна Александрук, здобувачка вищої освіти,
Ніна Падалко, кандидат педагогічних наук, доцент,
Волинський національний університет
імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В 5 КЛАСІ

Анотація У роботі досліджено роль інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) як стратегічного засобу підвищення навчальної мотивації учнів 5-х класів на уроках математики. Автор аналізує переваги інтерактивних платформ, що дозволяють створити персоналізовану освітню траєкторію та забезпечити миттєвий зворотний зв'язок. Висвітлено досвід застосування конкретних онлайн-сервісів для візуалізації складних понять та ігрового засвоєння матеріалу, що сприяє розвитку цифрових компетентностей учнів.

Ключові слова: ІКТ, інтерактивні платформи, мотивація, математика, 5 клас, цифрові компетентності, інтерактивність.

Abstract The paper investigates the role of information and communication technologies (ICT) as a strategic means of increasing the learning motivation of 5th-grade students in mathematics lessons. The author analyzes the advantages of interactive platforms that allow for the creation of a personalized educational trajectory and provide instant feedback. The experience of using specific online services for the visualization of complex concepts and game-based learning is highlighted, which contributes to the development of students' digital competencies.

Keywords: ICT, interactive platforms, motivation, mathematics, 5th grade, digital competencies, interactivity.

На сьогоднішній день інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) стали потужним інструментом трансформації освітнього процесу, особливо у викладанні математики в початковій ланці середньої школи. Перехід учнів до 5-го класу супроводжується зростанням складності навчального матеріалу, що часто призводить до зниження інтересу до предмета. Використання ІКТ дозволяє подолати цей бар'єр, створюючи динамічне, інтерактивне середовище, яке стимулює внутрішню мотивацію школярів.

Одним із провідних методів активізації навчання є впровадження **інтерактивних платформ**. Вони пропонують учням взаємодію з математичними задачами у форматі гри або змагання, що перетворює рутинне розв'язування вправ на захоплюючий процес. Це сприяє глибшому розумінню матеріалу, оскільки учні перестають бути пасивними слухачами й стають активними учасниками пошуку рішень. Важливою перевагою є можливість адаптації завдань до рівня підготовки кожного учня, що робить навчання персоналізованим. Школярі можуть самостійно проходити тестування, отримувати миттєву оцінку результатів та бачити свій прогрес у реальному часі.

Практичний досвід показує високу ефективність таких сервісів:

- **Khan Academy та IXL Math:** ці платформи надають можливості для індивідуалізованого навчання та глибокої практики з отриманням детальних пояснень до помилок.
- **GeoGebra:** використання комп'ютерного моделювання геометричних фігур допомагає 10-11 річним учням візуалізувати абстрактні поняття та краще розуміти просторові взаємозв'язки.
- **Wordwall:** ігрова платформа, що дозволяє створювати вікторини, відповідники та кросворди. Наприклад, при закріпленні теми «Дії з десятковими дробами» ефективно використовувати шаблони «Знайди пару», де правильні відповіді рухаються на дережаблях, що додає уроку елемент пригоди.
- **Kahoot:** перетворює перевірку знань на конкурентне змагання. Наприклад, під час вивчення теми «Середнє арифметичне» швидкість вибору правильної відповіді безпосередньо впливає на рейтинг учня, що стимулює швидкість мислення та азарт до навчання.
- **Liveworksheets:** дозволяє модернізувати традиційні паперові завдання, перетворюючи їх на інтерактивні робочі аркуші з автоматичною перевіркою.

Таким чином, інтеграція ІКТ у навчальний процес 5-х класів не лише підвищує академічну ефективність, але й формує цифрові компетентності,

необхідні в сучасному суспільстві. Завдяки наочності та інтерактивності кожен учень отримує шанс відчути себе успішним, що зміцнює його впевненість у власних силах та стимулює подальший творчий пошук.

Список використаних джерел

1. Істер О.С. Математика 5 клас: підручник для закладів загальної середньої освіти. Київ: Генеза, 2022. 304 с.
2. Істер О.С. Модельна навчальна програма «Математика. 5-6 класи». URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2021/14.07/Model.navch.prohr.5-9.klas.NUSH-poetap.z.2022/Matem.osv.galuz-5-6-kl/Matem.5-6-kl.Ister.14.07.pdf (дата звернення 08.05.2026)
3. Падалко Н. Й. Методика навчання математики: метод. посіб. Луцьк: Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2021. 143 с.
4. Падалко Н. Й., Падалко А. М. Особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні дисциплін математичного циклу. *Математика, інформаційні технології*. 2020. С. 52-60

УДК 378.091.2(485)

Ілля Данилов**,** здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти кафедри автоматизації
проектування обчислювальної техніки
Харківський національний університеті радіоелектроніки,
м. Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ ШВЕЦІЇ

Анотація. У роботі розглядається перехід до студентоцентрованих та змішаних моделей навчання у вищій освіті. На основі досвіду академічної мобільності в Університеті Ліннея (Швеція) проаналізовано практичне впровадження цифрових інструментів та методики «перевернутого класу». Робота висвітлює, як ці підходи сприяють розвитку критичного мислення та залученості, а також окреслює виклики, пов’язані з самопідготовкою студентів. У підсумку надається висновок, що інтеграція таких динамічних методів створює інклюзивне середовище, яке підвищує ефективність підготовки фахівців.

Ключові слова: вища освіта, Швеція, педагогіка цифрове навчання, перевернутий клас.

Abstract. This work explores the shift toward student-centered and blended learning models in higher education. Based on personal academic mobility experience at Linnaeus University (Sweden), the study analyzes the practical implementation of digital tools and the "flipped classroom" methodology. The work highlights how these approaches foster critical thinking and engagement while identifying key challenges. Ultimately, the author concludes that integrating such dynamic methods creates an inclusive environment that enhances the effectiveness of technical education.

Keywords: higher education, Sweden, pedagogy, digital learning, flipped classroom.

У сучасних реаліях все більше відчувається потреба у відході вищої освіти від стандартних методів викладання. Стрімкий розвиток інформаційного суспільства та цифрова трансформація ринку праці вимагає від фахівців навичок критичного мислення, вміння розв’язувати нові, нестандартні проблеми [1]. Подібні вимоги роблять класичну парадигму викладання, де здобувачеві

відводиться пасивна роль, застарілою . Розуміючи це, у європейських закладах освіти активно впроваджують якісно нові підходи до навчального процесу.

Зокрема, у вищій освіті Швеції спостерігається виражений акцент на студентоцентровані змішані методи навчання з застосуванням цифрових технологій [2]. Вони дозволяють підвищити мотивацію та залученість студентів, перетворюючи їх із пасивних слухачів на активних творців власної освіти. Особливо актуальним це є для технічних спеціальностей через потребу у розв'язанні комплексних проблем у практичних сценаріях [3]. Нижче розглянуто власний досвід навчання за магістерською програмою академічної мобільності в шведському Університеті Ліннея.

Багато уваги в навчальному процесі приділяється самостійній роботі здобувачів. Курси передбачають об'ємні завдання (assignments), виконання яких потребують глибокого опрацювання студентами наукових статей та інших матеріалів. Важливу роль відіграють консультації, на яких від здобувачів освіти очікується ініціативність при постановці питань стосовно тих чи інших аспектів навчальної роботи.

Під час лекційних занять викладачі намагаються залучити студентів до активної участі в навчальному процесі. Наприклад, заохочується виконання простих практичних завдань, відповіді на відкриті питання тощо. Відвідуваність занять при цьому не відстежується.

Загально прийнятим є змішаний формат навчання. Так, зазвичай на очних заняттях одночасно присутні і дистанційні здобувачі освіти. Для дистанційного навчання в університеті Ліннея, як і в багатьох навчальних закладах України, використовується платформа Moodle. Викладачі приділяють багато уваги оформленню сторінок курсів на платформі, своєчасно оновлюють розділи та активно користуються функціями форуму для розсилки повідомлень студентам. Для прикладу, через Moodle надходять нагадування про проведення чергових

лекцій та інших видів занять. Подібне використання платформи допомагає створити відчуття залученості викладача у навчальний процес.

Окремо хотілося б розглянути підхід до організації занять під назвою «перевернутий клас» (англ. flipped classroom), який, зокрема, використовується одним з викладачів. Принцип полягає у тому, що навчальний матеріал (запис лекції та відповідні джерела) надається студентам для самостійного опрацювання заздалегідь. Під час заняття викладач виступає в якості ведучого, посередника для дискусії за рядом питань. Питання готуються заздалегідь, декілька питань відповідають одній підтемі лекції. Замість того, щоб читати матеріал власноруч, викладач заохочує студентів пояснювати концепції, що розглядаються, ділитися власними думками щодо того чи іншого питання.

Використання «перевернутого класу» має ряд позитивних аспектів. Даний підхід дозволяє створити в аудиторії живу атмосферу дискусії. Під час заняття, замість пасивного споживання матеріалу, студенти мають можливість поділитися власними думками з приводу питань, що розглядаються. В процесі дискусії учасники висвітлюють проблему з різних боків, зокрема наводячи приклади з власного життя. Наведені під час обговорення приклади та власна участь студента створює додатковий контекст та допомагає краще засвоїти матеріал[3]. Формат «перевернутого класу» переважно позитивно впливає на результати та успішність студентів, сприяючи глибшому засвоєнню матеріалу та підвищенню оцінок [1].

Однак, при впровадженні даного підходу слід мати на увазі ряд особливостей. Помічено, що метод добре працює в невеликих аудиторіях (10-15 людей). Якщо студентів менше, хід заняття уповільнюється, через брак активності, недостатність точок зору. В такій ситуації викладачеві складніше підтримувати дискусію. Також метод потребує відповідальності з боку студентів. Методом передбачається, що усі учасники ознайомлені з матеріалом та можуть відповідати на поставлені питання. Якщо студенти не готові до заняття, їхня активна участь в ньому стає неможливою.

В підсумку, описані підходи до вищої освіти методи дозволяють створити більш динамічне та інклюзивне навчальне середовище, в цілому підвищуючи ефективність навчання.

Список використаних джерел

1. Hartyányi M. Innovating vocational education: Flipped classroom in practice. *FlipIT! Erasmus+ Project. European Commission*. 2018. URL: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/17061004-3280-44bc-81ca-463b3f329b5d/Flipped_Classrom_in_Practice_EN.pdf (дата звернення 19.05.2026).
2. Gaebel, M., Zhang, T., Stoeber, H., & Morrisroe, A. Digitally Enhanced Learning and Teaching in European Higher Education Institutions. *European University Association*. 2021. URL: https://eua.eu/downloads/publications/digi-he%20survey%20report.pdf (дата звернення 19.05.2026).

УДК 378.147:004

***Єгор Боденчук-Пастухов*,**
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
кафедри інформатики,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків, Україна

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ВИСОКОГО РІВНЯ У ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ІТ-ОСВІТИ

Анотація. У тезах розглянуто роль інноваційних технологій у розвитку компетентностей високого рівня у здобувачів вищої ІТ-освіти. Акцент зроблено на використанні проєктно-орієнтованого навчання, цифрових платформ, віртуальних лабораторій та автоматизованої перевірки коду як засобів активізації навчальної діяльності. Обговорено тематику використання штучного інтелекту та нейромереж в якості інструментів для навчання або поліпшення якості освітнього процесу. Підкреслено, що ефективність технологій залежить не лише від їх технічних можливостей, а й від педагогічно обґрунтованого впровадження в освітній процес.

Ключові слова: вища ІТ-освіта, компетентності високого рівня, проєктно-орієнтоване навчання, педагогіка, цифра компетентність.

Abstract. The theses consider the role of innovative technologies in the development of high-level competencies in higher IT education students. The emphasis is on the use of project-based learning, digital platforms, virtual laboratories, and automated code review as means of activating educational activities. The topic of using artificial intelligence and neural networks as tools for learning or improving the quality of the educational process is discussed. It is emphasized that the effectiveness of technologies depends not only on their technical capabilities, but also on pedagogically sound implementation in the educational process.

Keywords: higher IT education, high-level competencies, project-based learning, pedagogy, digital competence.

Сучасна вища ІТ-освіта розвивається в умовах швидких технологічних змін, цифрової трансформації та постійного оновлення вимог до майбутніх фахівців. Знання конкретної мови програмування, фреймворку, бібліотеки чи окремого інструменту вже не гарантує професійної стійкості, оскільки технології швидко змінюються та розвиваються. Одне із головних завдань підготовки спеціалістів

постає не лише передавання готових знань, а й формування у здобувачів здатності самостійно навчатися, критично мислити, аналізувати складні задачі та матеріал, працювати з невизначеністю та створювати нові систематизовані або архітектурні рішення.

Особливої актуальності це питання набуває для підготовки майбутніх IT-фахівців. У сфері інформаційних технологій здобувач має не просто відтворювати навчальний матеріал, а вміти застосовувати його в реальних або наближених до реальних умовах. Через це, інноваційні технології в освітньому процесі доцільно розглядати не як додатковий елемент, а як важливий засіб організації активного, практичного й дослідницького навчання.

Одним із найбільш ефективних підходів у цьому контексті є проєктно-орієнтоване навчання. Наприклад, під час вивчення програмування, баз даних, веброзробки або проєктування інформаційних систем здобувачі можуть працювати не лише з окремими лабораторними вправами, а з мініпроєктами: створенням вебзастосунку, навчального сервісу, інформаційної системи, системи обробки даних або прототипу програмного продукту. У такому форматі здобувач краще розуміє, навіщо потрібні ті чи інші знання, як вони пов’язані між собою та як використовуються на практиці.

В такому підході, роль викладача також змінюється. Він уже не є лише джерелом інформації, адже значну частину матеріалу здобувач може знайти самостійно в документації, наукових публікаціях або за допомогою цифрових інструментів. Натомість викладач виступає організатором освітнього процесу, наставником і модератором навчальної діяльності. Його завдання полягає в тому, щоб допомогти здобувачам правильно працювати з інформацією, критично оцінювати джерела, аргументувати рішення, дотримуватися академічної доброчесності.

Це відповідає сучасним підходам до цифрової компетентності викладача. Зокрема, рамка DigCompEdu розглядає цифрову компетентність педагогів як

здатність осмислено використовувати цифрові технології для навчання, оцінювання, взаємодії зі іншими здобувачами та власного професійного розвитку [1]. Тобто інноваційні технології мають бути не просто «технічним додатком» до заняття, а частиною педагогічно продуманого освітнього середовища.

Окремої уваги потребує формування компетентностей високого рівня. До них можна віднести аналітичне та критичне мислення, креативність, дослідницькі навички, командну взаємодію, комунікацію, здатність до саморозвитку та відповідальність за прийняті рішення. У звіті The Future of Jobs Report 2025 серед навичок, що зростають у значенні, виділяються AI (Artificial Intelligence) і big data, кібербезпека, технологічна грамотність, творче мислення, гнучкість, стійкість, допитливість і навчання протягом життя [2]. Сучасна ІТ-освіта має орієнтуватися не лише на технічні знання, а й на розвиток ширших професійних компетентностей.

Для української вищої освіти це має особливе значення в умовах воєнного стану та нестабільності. Український ІТ-сектор залишається важливою частиною економіки та має значний потенціал, що підкреслюється у дослідженні Digital Tiger 2024 [3]. Водночас ІТ-фахівці працюють із цифровими системами, даними, безпекою, комунікаційними сервісами та програмними продуктами, які можуть впливати на діяльність організацій і життя людей. Тому підготовка таких фахівців повинна включати не лише технічну складову, а й розвиток відповідальності, етичного мислення та розуміння наслідків власних рішень.

UNESCO у рамці компетентностей для викладачів у сфері штучного інтелекту та нейромереж наголошує на важливості людиноцентричного підходу, розуміння основ штучного інтелекту, AI-педагогіки та професійного навчання викладачів [4]. Це є важливим орієнтиром для закладів вищої освіти, які впроваджують AI-інструменти в освітній процес.

Інноваційні підходи та технології є важливим засобом розвитку компетентностей високого рівня у здобувачів вищої ІТ-освіти. Їх ефективність залежить не лише від технічних можливостей, а й від педагогічно обґрунтованого

використання. Особливо найбільшу цінність вони мають тоді, коли допомагають здобувачу не просто швидше виконати завдання, але й глибше зрозуміти проблему, самостійно знайти рішення, обґрунтувати його та визначити вплив. Такі підходи дозволяють зробити освітній процес більш практичним, сучасним і наближеним до реальних викликів професійної діяльності.

Список використаних джерел

1. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu / European Commission. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. URL: https://education.ec.europa.eu/document/european-framework-for-the-digital-competence-of-educators-digcompedu (дата звернення 20.05.2026).
2. The Future of Jobs Report 2025 / World Economic Forum. Geneva, 2025. URL: https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/ (дата звернення 20.05.2026).
3. Digital Tiger 2024: The Market Power of Ukrainian IT : annual market research / IT Ukraine Association, Top Lead. Київ, 2025. 64 с. URL: https://itukraine.org.ua/files/DigitalTiger2024.pdf (дата звернення 20.05.2026).
4. AI Competency Framework for Teachers / UNESCO. Paris, 2024. URL: https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers (дата звернення 20.05.2026).

УДК 373.3:811.161.2:004.8

Анна Шекмар, здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності А3 Початкова освіта,
Мукачівський державний університет, м. Мукачево, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ

Анотація. У тезах проаналізовано теоретичні та практичні засади використання технологій штучного інтелекту для індивідуалізації вивчення української мови в початковій школі. Виокремлено роль адаптивних освітніх платформ та інтелектуальних чат-ботів у створенні персоналізованих траєкторій, що враховують темп і когнітивні особливості учнів. Наголошено на важливості автоматизації рутинних завдань вчителя для посилення творчої складової навчання в умовах Нової української школи.

Ключові слова: штучний інтелект, початкова школа, українська мова, персоналізація навчання, адаптивні платформи, Нова українська школа.

Abstract. The abstracts analyze the theoretical and practical foundations of using artificial intelligence technologies for individualizing Ukrainian language learning in primary school. The role of adaptive educational platforms and intelligent chatbots in creating personalized trajectories that take into account the pace and cognitive characteristics of students is highlighted. The importance of automating the teacher's routine tasks to strengthen the creative component of learning in the conditions of the New Ukrainian School is emphasized.

Keywords: artificial intelligence, primary school, Ukrainian language, personalized learning, adaptive platforms, New Ukrainian School.

Сучасна модернізація початкової освіти в Україні, що реалізується через концепцію Нової української школи, висуває високі вимоги до індивідуалізації освітнього процесу. Штучний інтелект стає незамінним асистентом вчителя, дозволяючи змістити акцент з рутинної перевірки робіт на творчу взаємодію та психологічну підтримку кожного школяра [3]. Персоналізація навчання за допомогою інтелектуальних систем ґрунтується на аналізі великих обсягів даних про успішність, «слабкі місця» та стиль засвоєння інформації дитиною, що дає

змогу створювати унікальні освітні траєкторії [6]. Впровадження таких інновацій дозволяє забезпечити адаптивність контенту, коли складність граматичних чи орфографічних вправ підлаштовується під результати учня в реальному часі [2].

Ефективним інструментом для формування мовленнєвих компетентностей є використання адаптивних платформ, таких як «На Урок», «Розумники» або «МійКлас», які забезпечують миттєвий зворотний зв’язок та автоматичне коригування навчальних сценаріїв [1]. Зокрема, інтелектуальні чат-боти дозволяють симулювати реальні комунікативні ситуації, надаючи учням можливість практикувати діалогічне мовлення та розширювати словниковий запас у безпечному інтерактивному середовищі [5]. Це значно підвищує мотивацію молодших школярів, оскільки система пропонує саме ті завдання, які відповідають їхнім актуальним інтересам та рівню підготовки [4].

Отже, генеративні моделі ШІ відкривають шлях до створення унікального дидактичного контенту, як-от персоналізованих текстів для читання, де героями можуть бути улюблені персонажі конкретної дитини, що стимулює зацікавленість мовою [2]. Окрім цього, технології ШІ забезпечують інклюзивність освіти, пропонуючи інструменти перетворення тексту на голос для підтримки дітей із дислексією або порушеннями зору, роблячи вивчення української мови доступним для всіх здобувачів [6]. Проте системна інтеграція ШІ потребує від педагога високого рівня цифрової грамотності та етичної відповідальності, аби технології доповнювали, а не замінювали живе спілкування [3]. Системне використання інтелектуальних сервісів не лише готує дітей до цифрового майбутнього, а й формує навички автономного навчання та критичного мислення вже з молодшого шкільного віку [4].

Список використаних джерел

1. Башуцька О. С., Політов І. А., Фенцик О. М. Впровадження штучного інтелекту в освітні платформи: переваги та ризики. *Академічні візії*. 2025. № 44. https://doi.org/10.5281/zenodo.15777291

2. Громова Н. Використання штучного інтелекту для персоналізації навчання української мови в НУШ. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. 2025. Вип. 23 (1). С. 63–73. https://doi.org/10.31865/2414-9292.23.2025.334119
3. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Терлецька Т. С., Смирнова-Трибульська Є. М. Штучний інтелект у ролі асистента вчителя початкової школи. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2023. № 15. С. 97–115.
4. Саєнко Ю., Сухомлінова А., Сухомлінова Ю. Діти в епоху штучного інтелекту: як підготувати дітей до цифрового майбутнього. *Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету*. 2024. № 2 (33). https://doi.org/10.33842/22195203-2024-2-33-154-159
5. Удовиченко Л., Строганова Г., Степаненко О., Попович А., Кримець О. Використання чат-ботів на основі штучного інтелекту для інтерактивного навчання української мови. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2025. Vol. 103 (12). С. 5119–5131. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/52958/1/L_Udovychenko_JTAIT_12_FSM.pdf (дата звернення 14.05.2026).
6. Швардак М. В., Попович О. М. Персоналізоване навчання з використанням штучного інтелекту. *Науковий вісник Сіверщини. Серія: Освіта. Соціальні та поведінкові науки*. 2025. № 1 (14). С. 139–156. https://doi.org/10.32755/sjeducation.2025.01.139

УДК 376.1:355.01

Аліна Шкурина, здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності А3 Початкова освіта,
Мукачівський державний університет, м. Мукачево, Україна

РОЗВИТОК ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ В КОНТЕКСТІ ВОЄННОГО СТАНУ

Анотація. У тезах розкрито ключові аспекти трансформації системи інклюзивної освіти в Україні під впливом воєнного стану. Проаналізовано стратегічні зміни в законодавстві, зокрема впровадження Національної стратегії до 2029 року та нових рівнів підтримки учнів. Висвітлено роль цифровізації, трансформацію діяльності інклюзивно-ресурсних центрів та важливість психолого-педагогічного супроводу дітей із травматичним досвідом війни.

Ключові слова: інклюзивна освіта, воєнний стан, рівні підтримки, цифрова інклюзія, інклюзивно-ресурсний центр, психологічна реабілітація.

Abstract. The abstracts reveal key aspects of the transformation of the inclusive education system in Ukraine under the influence of martial law. Strategic changes in legislation are analyzed, in particular the implementation of the National Strategy until 2029 and new levels of student support. The role of digitalization, the transformation of inclusive resource centers, and the importance of psychological and pedagogical support for children with traumatic war experiences are highlighted.

Keywords: inclusive education, martial law, support levels, digital inclusion, inclusive resource center, psychological rehabilitation.

Сучасний розвиток інклюзивної освіти в Україні відбувається в умовах безпрецедентних соціальних викликів, зумовлених повномасштабною збройною агресією. Війна спричинила масове внутрішнє переміщення населення, руйнування освітньої інфраструктури та значне зростання кількості дітей, які потребують спеціального супроводу через отримані фізичні та психологічні травми. У цих обставинах інклюзія трансформується зі способу реалізації права на навчання у стратегічний механізм зміцнення соціальної згуртованості та національної стійкості [7]. Побудова безпечного освітнього середовища сьогодні базується на правовій моделі, що пріоритезує самостійність та рівні можливості для осіб з

особливими освітніми потребами, спираючись на гуманістичні засади та педагогіку партнерства [1].

Нормативно-правове регулювання галузі зазнало фундаментального оновлення через ухвалення Національної стратегії розвитку інклюзивного навчання до 2029 року, яка визначає пріоритетом створення безбар'єрного простору та доступність укриттів [4]. Важливою новацією є затвердження оновленого Порядку організації інклюзивного навчання, згідно з яким із серпня 2026 року заклади освіти позбавляються права відмовляти у створенні інклюзивного класу за заявою батьків, що робить інклюзію обов'язковою умовою функціонування кожної школи [3]. Ефективність цього процесу безпосередньо залежить від впровадження багаторівневої системи підтримки (tiers of support), яка дозволяє диференціювати інтенсивність допомоги відповідно до індивідуальних труднощів дитини [2]. Досвід США та Канади підтверджує, що така модель є найдієвішою для забезпечення потреб усіх учнів у кризових ситуаціях [1].

Для забезпечення безперервності інклюзивного процесу було розроблено чотири пріоритетні моделі організації навчання залежно від безпекової ситуації в регіонах та місця перебування дитини [6]. Провідну роль у цьому процесі відіграють інклюзивно-ресурсні центри, діяльність яких була оперативно переорієнтована на мобільні форми роботи та системний супровід дітей-переселенців за місцем їхнього фактичного перебування. Фахівці ІРЦ сьогодні не лише проводять комплексну оцінку розвитку, а й надають психолого-педагогічну допомогу дітям, які зазнали травматичного впливу війни, використовуючи цифрові сервіси та автоматизовані системи для обміну даними про індивідуальні програми розвитку [5].

Цифровізація інклюзивного простору виступає критичним чинником мобільності та доступності знань. Використання асистивних технологій та спеціалізованих додатків, таких як «Digital Inclusion», дозволяє асистентам учителів ефективно опрацьовувати матеріал із дітьми навіть в умовах

дистанційного навчання чи перебування в укриттях [6]. Освіта в період війни виконує функцію психологічної реабілітації, де інклюзивні методи, емоційне навчання та методи арт-терапії допомагають молоді долати наслідки ПТСР та стабілізувати емоційний стан. Розвиток інклюзивної культури та психологічна готовність педагогів до роботи в умовах стресу стають визначальними факторами успішного відновлення людського капіталу України в післявоєнний період [2; 7].

Список використаних джерел

1. Бондар Т. І. Тенденції розвитку інклюзивної освіти у США та Канаді : дис. ... докт. пед. наук : 13.00.01. Хмельницький, 2019. 607 с.
2. Бондар Т. Рівнева модель супроводу (підтримки) дітей з інвалідністю: досвід США. *Актуальні питання гуманітарних наук.* 2022. Вип. 47. Т. 1. С. 283–290.
3. Про внесення змін до Порядку організації інклюзивного навчання у закладах загальної середньої освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 10 лютого 2026 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/129-2026-%D0%BF#Text (дата звернення 08.05.2026)
4. Про схвалення Національної стратегії розвитку інклюзивного навчання на період до 2029 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації на 2024-2026 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 7 червня 2024 р. № 527-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/527-2024-%D1%80#Text (дата звернення 08.05.2026)
5. Прохоренко Л., Стойка В., Йовдій В. Інклюзивно-ресурсні центри в умовах війни: окремі питання освіти дітей з особливими потребами. *Освіта осіб з особливими потребами: шляхи розбудови*. 2024. № 2 (23). С. 115–130. https://doi.org/10.33189/epsn.v2i23.234
6. Степанова Т. М., Степанова О. Б. Інклюзивна освіта в Україні в умовах воєнного стану: реалії, досвід і перспективи. *Імідж сучасного педагога.* 2024. № 6(219). С. 99–104.
7. Цикін Д., Дашков А., Ажажа М. Інклюзивна освіта як інструмент соціальної згуртованості в умовах воєнного стану: комунікативний аспект. *Теоретичні та прикладні питання державотворення.* 2025. № 33. С. 387–394. https://doi.org/10.35432/tisb332025332703

УХВАЛА КОНФЕРЕНЦІЇ

VII Міжнародна науково-практична конференція «РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ: РЕАЛІЇ, ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ, ІННОВАЦІЇ»

(20-22 травня 2026 рік, м. Запоріжжя)

Учасники Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації», обговоривши сучасний стан і перспективи розвитку фізико-математичних та технічних наук, актуальні напрями досліджень у галузі біосистемної агроінженерії, агротехнологій та агроекології, питання цифрової трансформації освіти, використання технологій штучного інтелекту та інноваційних освітніх технологій в умовах сучасних викликів, ухвалили:

1. сприяти розвитку фундаментальних і прикладних досліджень у галузі фізико-математичних наук шляхом підтримки наукових шкіл, залучення молодих дослідників до наукової діяльності, розширення міжнародної наукової співпраці та впровадження результатів досліджень у практику;

2. активізувати впровадження STEM-орієнтованих підходів, математичного моделювання, комп’ютерного експерименту та сучасних програмних засобів у освітній процес і наукові дослідження з метою формування дослідницьких компетентностей здобувачів освіти;

3. підтримувати розвиток інноваційних технічних рішень, цифрового проєктування, автоматизованих систем, технологій комп’ютерного моделювання та енергоефективних технологій, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності національної економіки та забезпечення сталого розвитку;

4. сприяти інтеграції сучасних цифрових технологій, штучного інтелекту, аналітичних систем та інструментів підтримки прийняття рішень у наукові

дослідження, агроінженерію, агротехнології та агроекологію з урахуванням принципів екологічної безпеки та сталого використання природних ресурсів;

5. забезпечувати системний розвиток цифрової, професійної та дослідницької компетентностей педагогічних і науково-педагогічних працівників шляхом впровадження програм підвищення кваліфікації, сучасних цифрових сервісів, технологій штучного інтелекту та інноваційних освітніх практик;

6. сприяти формуванню культури академічної доброчесності, відповідального та етичного використання технологій штучного інтелекту, розвитку навичок критичного мислення, інформаційної грамотності та протидії недоброчесним практикам у науковій та освітній діяльності;

7. розвивати безпечне, доступне та інклюзивне цифрове освітнє середовище, забезпечуючи належний рівень цифрової безпеки, захисту персональних даних та рівний доступ до якісної освіти для всіх категорій здобувачів освіти;

8. удосконалювати систему забезпечення якості освіти відповідно до європейських стандартів, розширювати міжнародне партнерство, академічну мобільність і участь у міжнародних освітніх та наукових проєктах, зокрема в межах програм Erasmus+, Horizon Europe та інших міжнародних ініціатив;

9. підтримувати впровадження інноваційних педагогічних технологій, гейміфікації, дизайн-мислення, робототехніки, цифрових освітніх ресурсів та персоналізованого навчання як засобів підвищення мотивації й результативності освітнього процесу;

10. підготувати електронний збірник матеріалів конференції та забезпечити його розміщення на офіційному вебсайті конференції, а також поширення результатів наукових досліджень через вебресурси організаторів, учасників і партнерських установ.

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

VII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ: РЕАЛІЇ, ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ, ІННОВАЦІЇ

(м. Запоріжжя, 20-22 травня 2026 р.)

Відповідальний за випуск: Н. А. Дьоміна
Дизайн і верстка: А. Ф. Дяденчук

Адреси для листування:
69006, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226
E-mail: vmf@tsatu.edu.ua
Сайт конференції: https://sites.google.com/tsatu.edu.ua/mvfconf